

VARIACIÓN GENÉTICA EN PLÁNTULAS DE *Eucalyptus* spp.

H. C. Martínez-Hernández¹; C. Ramírez H.²; J. J. Vargas H.²; J. López U.²

¹Estudiante de Maestría, División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. México.

² Programa Forestal. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México. C.P. 56230. México.

RESUMEN

En este estudio se evaluó el crecimiento y acumulación de biomasa en plántulas de 7 meses de edad pertenecientes a 42 familias de polinización libre de tres especies de *Eucalyptus* (*E. globulus*, *E. resinifera*, y *E. rudis*). El ensayo se estableció en condiciones de vivero con germoplasma colectado en plantaciones establecidas en la cuenca del Valle de México.

Los resultados indicaron la existencia de variación significativa ($P \leq 0.05$) entre especies y entre familias dentro de especies para las variables altura, diámetro, número de hojas y número de ramas, aunque no en el área foliar. A nivel de especies se encontraron diferencias significativas en todas las variables relacionadas con la acumulación y distribución de biomasa, excepto en el peso seco de las hojas. También se encontró una variación significativa ($P \leq 0.01$) a nivel de familias dentro de especies en el peso seco del tallo, el peso seco de hojas y la biomasa aérea mientras que el peso seco de las ramas y la biomasa de raíz no presentaron una variación significativa entre las familias. El componente de variación de familias dentro de especies aportó del 2 al 12 % de la variación fenotípica total, mientras que las especies contribuyeron sólo del 0.5 a 7.5 de esta variación. El mayor porcentaje de variación se presentó dentro de parcelas, con valores de 80 a 90 % del total en todas las variables de crecimiento y acumulación de biomasa de las plántulas.

PALABRAS CLAVE: progenie de polinización libre, evaluación de germoplasma, acumulación de biomasa, componentes de varianza, *Eucalyptus*.

GENETIC VARIATION IN SEEDLINGS OF *Eucalyptus* spp.

SUMMARY

In this study, growth and biomass accumulation of 42 open-pollinated families of three *Eucalyptus* species (*E. globulus*, *E. resinifera*, and *E. rudis*) were evaluated using seven-month-old seedlings. The progeny test was established under nursery conditions using germplasm collected from plantations in the Valley of Mexico.

Results showed significant variation ($P \leq 0.05$) among both species and families within species for seedling height and diameter and number of branches and leaves on the main stem, though not for leaf area. At the species level, there were also significant differences in most traits related to biomass accumulation and distribution, except for leaf dry weight. At the family level, a significant variation ($P \leq 0.01$) was also found for most of the seedling biomass components, except for biomass of branches and roots. Within species, variation (among families) contributed 2 to 12 % of the total phenotypic variation in seedling traits, while the species contributed only 0.5 to 7.5 % of this variation. The largest component of variation was found within families, contributing 80 to 90 % of the total variation for all growth and biomass traits evaluated in the seedlings.

KEY WORDS: Open-pollinated progenies, germplasm evaluation, biomass accumulation, variance components, *Eucalyptus*.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población en el mundo ha traído como consecuencia una mayor demanda de espacio para la producción de alimentos y para la construcción de viviendas. Lo anterior ha generado un desplazamiento y destrucción de la vegetación silvestre, ocasionando con esto una pérdida acelerada del suelo lo cual hace difícil el

establecimiento eficiente de vegetación arbórea. Es necesario por esto evaluar especies arbóreas con amplia variabilidad genética (Morgenstern, 1996), que permitan seleccionar procedencias y genotipos con capacidad de crecer con eficiencia en varias condiciones ambientales, y obtener en un corto tiempo el producto deseado (Zobel y Talbert, 1988). Sin embargo, uno de los problemas asociados a la selección entre y dentro de especies

forestales leñosas es el tiempo requerido para su evaluación, debido a la longevidad de estas especies. Una opción consiste en seleccionar los genotipos con base en características que se manifiesten en etapas juveniles, con el fin de mejorar una característica en edades posteriores (Vargas-Hernandez y Adams, 1992). En este sentido, existe una gran cantidad de evidencias en diferentes especies forestales de que las características de crecimiento y acumulación de biomasa en plántulas están correlacionadas positivamente con la producción de madera en edades adultas (Lambeth *et al.*, 1994; Robinson *et al.*, 1984).

Algunas especies del género *Eucalyptus* han tenido un éxito sobresaliente en los programas de reforestación, lo cual se ha debido entre otras cosas a la diversidad de usos, a las características tecnológicas de la madera y al desarrollo que alcanzan estas especies en períodos relativamente cortos en condiciones ambientales óptimas o donde difícilmente prosperaría alguna otra especie (Mangieri y Dimitri, 1971; Campinhos, 1999). Además, es bien conocido en la literatura que algunas especies de *Eucalyptus* como *E. camaldulensis* Dehnh., presentan una amplia plasticidad y variabilidad genética (García *et al.*, 1991), por lo que es posible iniciar actividades de selección y mejoramiento genético en ellas. Sin embargo, no se conoce el nivel de variación inter e intraespecífico que pueda existir en otras especies de *Eucalyptus* que se han introducido en México, y que podrían ser útiles para los mismos propósitos que las especies más conocidas.

Con base en lo anterior, en este trabajo se evaluó el crecimiento inicial y la acumulación de biomasa de la progenie de 42 familias de polinización libre de tres especies de *Eucalyptus*, incluyendo *E. globulus* Labill., *E. resinifera* Sm., y *E. rudis* Endl. Bajo condiciones de vivero se pretendió determinar el nivel de variación genética existente entre y dentro de especies en algunas características morfológicas de las plantas e identificar las familias de medios hermanos e individuos con mayor crecimiento y acumulación de biomasa a los siete meses de edad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se sembró germoplasma de 42 lotes individuales (familias de medios hermanos) de *Eucalyptus globulus* (2 familias), *E. resinifera* (29 familias), y *E. rudis* (11 familias) las cuales fueron colectadas en 1993 en plantaciones ubicadas en el "Valle de México". Los árboles de donde se colectaron los frutos fueron seleccionados con base en su fenotipo dentro de las plantaciones, asegurando que fuera superior al promedio de los árboles vecinos. La semilla obtenida de cada árbol se almacenó debidamente identificada y en forma separada en bolsas de plástico.

La semilla se sembró en charolas de plástico sin recibir ningún tratamiento previo para estimular u

homogenizar la germinación. La siembra se realizó en hileras, con un distanciamiento de 5 cm entre ellas, con el propósito de evitar la mezcla de semilla de árboles vecinos. En uno de los extremos de cada línea se colocó una etiqueta con el fin de identificar la progenie de cada familia.

A las cuatro semanas después de la siembra, las plántulas emergidas se trasplantaron a camas de crecimiento, con un espaciado de 10 x 5 cm entre plantas. En la parte inferior de la cama se colocó una capa de 20 cm de tezontle, arriba de esta capa se colocó otra de 90 cm de una mezcla uniforme de tierra de monte y suelo agrícola del Campo Experimental Montecillos, en proporción 1:1. Los 20 cm superiores de esta capa de suelo se desinfectaron con bromuro de metilo con el propósito de evitar posibles daños de damping-off causados por hongos en la fase de plántula. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas, con 4 repeticiones. En cada repetición las especies se distribuyeron al azar (parcelas grandes), y dentro de éstas se ubicaron al azar las familias (parcelas pequeñas) con nueve plantas útiles por parcela. Las plantas de los extremos de cada hilera no se evaluaron para evitar el efecto de borde.

A los siete meses de edad en todas las plantas útiles por parcela se evaluó: la altura, el número total de hojas, el número de ramas laterales, el diámetro al cuello de la raíz, el número total de hojas, el número de ramas laterales, el área foliar, la biomasa de la raíz, el peso seco del tallo, el peso seco de hojas y el peso seco de ramas laterales. Con los datos de peso seco del tallo, hojas y ramas se obtuvo la biomasa aérea. Debido a las dificultades para medir biomasa de raíz y área foliar, estas variables se midieron sólo en cinco plantas por parcela, seleccionadas al azar. Para obtener los datos de área foliar se utilizó el integrador de área foliar marca LICOR modelo LI-3000A.

Análisis estadístico de los datos

El análisis de datos se realizó a través del procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1988). El modelo lineal para el análisis estadístico es el siguiente.

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + S_j + BS_{ij} + F(S)_{kj} + BF(S)_{ijk} + E_{ijkl}$$

En donde:

Y_{ijkl} = Valor observado en la 1-ésima planta de la k-ésima familia en la j-ésima especie en el i-ésimo bloque.

μ = Media general.

B_i = Efecto del i-ésimo bloque.

S = Efecto de la j-ésima especie.

BS_{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo bloque con la j-ésima especie (Error de parcelas grandes).

F(S)_{kj} = Efecto de la k-ésima familia dentro de la j-ésima especie.

BF(S)_{ijk} = Efecto de la interacción del i-ésimo bloque con la k-ésima familia dentro de la j-ésima especie (error de parcela pequeña).

E_{ijkl} = Error de muestreo dentro de las parcelas.

Se realizó un análisis de varianza que incluyó la esperanza de los cuadrados medios de las diferentes fuentes de variación que intervienen en el modelo para determinar si existe una variación significativa entre las especies y entre las familias dentro de las especies, considerando a todas las fuente de variación como de efectos aleatorios (Cuadro 1).

CUADRO 1. Análisis de varianza para el diseño experimental usado en el análisis de varianza de plántulas de tres especies de *Eucalyptus* spp. evaluadas a los 7 meses de edad.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Cuadrados medios esperados
Bloques	b-1	CM _B	$\sigma_w^2 + k_{10} \sigma_{b^*f(s)}^2 + k_{11} \sigma_{b^*s}^2 + k_{12} \sigma_b^2$
Especies	s-1	CM _s	$\sigma_w^2 + k_6 \sigma_{b^*f(s)}^2 + k_7 \sigma_{b^*s}^2 + k_8 \sigma_{f(s)}^2 + k_9 \sigma_s^2$
B*S	(b-1)(s-1)	CM _{B*S}	$\sigma_w^2 + k_4 \sigma_{b^*f(s)}^2 + k_5 \sigma_{b^*s}^2$
F(S)	$\sum (f_i - 1)$	CM _{F(S)}	$\sigma_w^2 + k_2 \sigma_{b^*f(s)}^2 + k_3 \sigma_{f(s)}^2$
B*F(S)	(b-1) $\sum (f_i - 1)$	CM _{B*F(S)}	$\sigma_w^2 + k_1 \sigma_{b^*f(s)}^2$
Error	$\sum (n_j - 1)$	CM _W	σ_w^2

k_i = Coeficiente asociado a cada componente de varianza; b = Número de bloques; s = Número de especies; f(s) = Media armónica del número de familias dentro de especies; n_j = Número de planta en la parcela ij; σ_b^2 = Varianza bloque, σ_s^2 = Varianza de especies; $\sigma_{f(s)}^2$ = Varianza de familias dentro de especies; σ_{bs}^2 = Varianza de interacción de bloques por especie; $\sigma_{b^*f(s)}^2$ = Varianza de interacción bloque por familia dentro de especies; σ_w^2 = Varianza del error de muestreo (varianza dentro de parcelas).

Los componentes de varianza fueron estimados con el método de momentos a partir del análisis de varianza y de los cuadrados medios esperados. Así, se determinaron las siguientes ecuaciones:

$$\hat{\sigma}_w^2 = CM_w$$

$$\hat{\sigma}_{b^*f(s)}^2 = (CM_{B^*F(S)} - CM_w) / k_1$$

$$\hat{\sigma}_{f(s)}^2 = [CM_{F(S)} - [(k/k_2)CM_{B^*F(S)} + (1 - (k/k_2))CM_w]] / k_3$$

$$\hat{\sigma}_{b^*s}^2 = [CM_{B^*S} - [(k/k_4)CM_{B^*F(S)} + (1 - (k/k_4))CM_w]] / k_5$$

$$\hat{\sigma}_s^2 = [CM_s + CM_{B^*F(S)} - [(CM_{B^*S} + (k/k_8)CM_{F(S)}) + (1 - (k/k_8)k_3)CM_w]] / k_9$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento y arquitectura de la planta

El análisis de varianza mostró una variación significativa ($P \leq 0.05$) tanto entre especies como entre familias dentro de especies en las características de altura, diámetro, número de hojas, y número de ramas. Sin embargo en área foliar no se encontró una variación significativa (Cuadro 2). Estos dos componentes de variación aportaron entre el 3.9 y el 13 % de la variación fenotípica total de cada una de las características evaluadas. Estos componentes de varianza son menores a los encontrados por Hernández (1997) en plantas de 6 meses de edad de *Eucalyptus camaldulensis*. El mayor porcentaje de variación se presentó dentro de parcelas. En estudios realizados en otras especies forestales se ha encontrado que la variación dentro de parcelas aporta casi siempre el mayor porcentaje de la variación total (Valencia *et al.*, 1996; Valdez *et al.*, 1998).

Con excepción del número de ramas, en todas las características la variación entre familias siempre fue mayor que la variación entre especies. Por ejemplo, en el caso de la altura la variación entre familias fue más de 10 veces mayor que la variación entre especies, mientras que en el caso del diámetro del tallo y el número de hojas la variación entre familias fue casi el doble de la variación entre especies. En cambio, en el número de ramas la variación entre familias fue sólo la mitad de la variación observada entre especies (Cuadro 2). Esto muestra que hay una mayor diferenciación a nivel de especies que dentro de ellas en el número de ramas.

CUADRO 2. Proporción de los componentes de varianza respecto a la varianza fenotípica total para las características de crecimiento y arquitectura de plántulas de tres especies de *Eucalyptus* spp. evaluadas a los 7 meses de edad.

Variable Total	Componentes de varianza					Varianza Total
	$\hat{\sigma}_s^2$	$\hat{\sigma}_{bs}^2$	$\hat{\sigma}_{f(s)}^2$	$\hat{\sigma}_{b^*f(s)}^2$	$\hat{\sigma}_w^2$	
g	2	6	40	101	1063	
Altura (cm)	0.96**	1.80	12.03**	6.10	79.11	1241.53
Diámetro (mm)	3.82*	0.93	6.32**	3.93	85.00	20.20
No. de hojas	4.27*	0.69	9.78**	5.03	80.23	105.05
No. de ramas	7.42**	1.28	3.73*	7.54	80.03	27.40
Area foliar (cm ²)	1.77ns	0.41	2.17ns	13.65	82.00	136729.21

$\hat{\sigma}_s^2$ = Varianza entre especies; $\hat{\sigma}_{bs}^2$ = Varianza de la interacción bloque por especies; $\hat{\sigma}_{f(s)}^2$ = Varianza entre familias dentro de especies; $\hat{\sigma}_{b^*f(s)}^2$ = Varianza entre parcelas; $\hat{\sigma}_w^2$ = Varianza dentro de parcelas; Componentes de varianza expresados en % de la varianza fenotípica total. $\hat{\sigma}_T^2$ = Valor absoluto de la varianza total; * = Significativo con ($P \leq 0.05$); ** = Significativo con ($P \leq 0.01$); ns = No significativo.

A los siete meses de edad, las plantas de *Eucalyptus* en el ensayo alcanzaron una altura promedio de 92.7 cm. Sin embargo, las tres especies tuvieron un crecimiento promedio en altura similar, con valores promedio que fluctuaron de 90.6 cm en *E. resinifera* a 98.5 cm en *E. rudis*, los cuales representan una diferencia menor del 6 % con respecto a la media general (Cuadro 3). En cambio, a nivel de familia se encontró una amplia variación en las tres especies. Por ejemplo, en *E. resinifera* y *E. rudis* la diferencia en altura promedio entre las familias extremas fue de alrededor de 50 cm (Cuadro 3). Por otro lado, a pesar de que sólo se incluyeron dos familias de *E. globulus* en el ensayo, la diferencia en altura promedio entre ellas fue de 24 cm, casi un 25 % en terminos relativos.

CUADRO 3. Valores promedio a nivel de especies y valores extremos de las familias dentro de especies, de las características de crecimiento y arquitectura de las plántulas de tres especies de *Eucalyptus* spp. evaluadas a los 7 meses de edad.

Variable	Media general	Especies		
		<i>E. globulus</i> (Min.-Max.)	<i>E. resinifera</i> (Min.-Max.)	<i>E. rudis</i> (Min.-Max.)
Altura (cm)	92.7	95.0 (75.4-99.4)	90.6 (65.3-120.1)	98.5 (70.9-120.3)
Diámetro (mm)	8.2	6.8 (5.5-7.1)	8.0 (5.5-10.8)	8.8 (6.4-10.7)
No. de hojas	26.7	31.0 (24.6-32.5)	25.6 (16.3-34.3)	29.2 (18.9-34.8)
No. de ramas	3.2	7.2 (3.9-7.9)	2.6 (0.4-6.1)	4.5 (0.9-9.1)
Area Foliar (cm ²)	632.3	698 (626-713)	612 (372-853)	715 (527-953)

El diámetro promedio del tallo en el ensayo fue de 8.2 mm; sin embargo, *E. rudis* alcanzó un diámetro promedio casi 30 % mayor que en *E. globulus* que fue la especie con tallos más delgados (Cuadro 3). Nuevamente, las diferencias en esta característica entre las familias dentro de cada especie fueron mucho mayores, especialmente en *E. resinifera* y *E. rudis*. En estas especies la diferencia entre familias extremas fue de casi 5 mm, equivalente al diámetro alcanzado por las familias de menor crecimiento; es decir, el diámetro promedio del tallo en la familia de mayor crecimiento fue casi el doble del diámetro promedio de la familia de menor crecimiento, a los 7 meses de edad. En términos generales, el diámetro promedio que alcanzaron las plántulas de *E. globulus*, *E. resinifera*, y *E. rudis* fue similar al diámetro promedio que alcanzaron plántulas de la misma edad de *E. camaldulensis* (Valdez *et al.*, 1998). Sin embargo, la diferencia en el diámetro entre familias extremas de este estudio fue menor que la diferencia encontrada entre las familias extremas del estudio de Valdez *et al.* (1998), lo cual pueda deberse, al menos en parte, a que en ese estudio se incluyó un número mayor de familias.

Si las diferencias en altura observadas entre las familias durante los primeros meses de crecimiento de las plantas se mantuvieran en etapas maduras, con una

correlación positiva entre ambas etapas, sería posible hacer selección en las etapas iniciales de desarrollo de estas especies. La posibilidad de selección temprana con base en el crecimiento en altura y diámetro de las plantas permitiría aumentar la producción de madera al hacer una selección avanzada de los mejores fenotipos y al hecho de que tanto el diámetro como la altura se encuentran estrechamente relacionadas con el volumen del tronco (Valencia *et al.*, 1996; Valdez *et al.*, 1998).

El número total de hojas promedio fue de 26.6 por planta a nivel de todas las especies de *Eucalyptus* incluidas en este estudio, con diferencias significativas entre especies ($P \leq 0.05$). *E. globulus* presentó un número de hojas promedio 21 % superior al promedio más bajo, que fue encontrado en *E. resinifera* (Cuadro 3). A nivel de familias se encontraron diferencias altamente significativas, donde el número de hojas promedio varió de 16.3 hojas en una familia de *E. resinifera* a 34.8 en una familia de *E. rudis*. *E. resinifera* presentó una mayor diferencia en el número de hojas (110 %), siguiendo la diferencia entre familias extremas de *E. rudis* (84 %) y la menor diferencia fue encontrada entre los valores extremos de las familias de *E. globulus* (32 %). La mayor variación encontrada en familias de *E. resinifera* se puede deber en parte al hecho de que en el ensayo se incluyó un número mayor de familias de esta especie.

El número promedio de ramas por planta en el ensayo fue de 3.2. La diferencia entre especies fue significativa, con un valor que varió de 2.6 en *E. resinifera* a 7.2 ramas en *E. globulus*, lo cual representa, casi 3 veces más ramas en la segunda que en la primera (Cuadro 3). Las diferencias entre familias en esta característica también resultaron estadísticamente significativas. Al igual que las variables anteriores, se encontraron mayores diferencias entre las familias de *E. resinifera* y de *E. rudis* que en las dos familias de *E. globulus* (Cuadro 3). Estos promedios son similares a los encontrados en *E. camaldulensis* (Valdez *et al.*, 1998). Los altos niveles de variación encontrados en plántulas de estas especies da la posibilidad de seleccionar plantas con un número reducido de ramas que a edad madura permitan cosechar madera libre de nudos y mayor calidad de la madera (Daniel *et al.*, 1982; Zobel y Talbert, 1988). Las familias que presentaron los valores extremos en el número de ramas fueron las mismas que presentaron los valores extremos en el número de hojas y altura final, por lo que probablemente estas características estén fuertemente relacionadas con el tamaño de la planta.

El área foliar promedio en el ensayo fue de 632.3 cm². Aunque no se encontraron diferencias significativas, los valores promedio de las especies fluctuaron de 612 cm² en *E. resinifera* hasta 715 cm² en *E. rudis*, lo que representa una diferencia de 17 % entre ellas (Cuadro 3). Tampoco se encontraron diferencias significativas a nivel de familias, aunque los promedios extremos del área foliar fluctuaron de 372 cm² en una familia de *E. resinifera* a 953 cm² en

una familia de *E. rudis*. Estos resultados son similares a los señalados por Valdez *et al.* (1998) en plantas de *E. camaldulensis*, e implica que el área foliar es una característica muy afectada por el microambiente en que se desarrolla cada planta, pues a pesar del amplio rango de variación en los valores promedio de las familias, estas diferencias no son significativas. .

Acumulación y distribución de biomasa

El análisis de varianza mostró una variación significativa ($P \leq 0.05$) a nivel de especies en todas las características de biomasa evaluadas, con excepción del peso seco de hojas (Cuadro 4). También se encontró una variación significativa ($P \leq 0.01$) a nivel de familias dentro de especies en el peso seco del tallo, el peso seco de las hojas y la biomasa aérea, pero no en el peso seco de ramas y la biomasa de raíz. La variación entre especies y entre familias dentro de especies aportaron del 4.1 al 7.9 % de la variación fenotípica total estimada para estas características (Cuadro 4). La variación entre familias dentro de especies fue de 1 a 14 veces mayor que la variación entre especies, por lo que dentro de especies se tiene una mayor posibilidad de hacer selección para la mayoría de estas características. Hernández (1997) menciona componentes de varianza entre familias mayores a los observados en este ensayo. Cabe destacar que la variación dentro de parcelas contribuyó con valores superiores al 80 % de la varianza fenotípica total, lo cual representa proporciones similares a las encontradas en *E. camaldulensis* (Valdez *et al.*, 1998). En especies arbóreas de leguminosas, este componente de varianza también contribuyó con más del 60 % a la varianza fenotípica total (Ramírez *et al.*, 1995).

CUADRO 4. Proporción de los componentes de varianza respecto a la varianza fenotípica total para las características de acumulación y distribución de biomasa de plántulas de tres especies *Eucalyptus* spp. evaluadas a los 7 meses de edad.

Variable	Componentes de varianza					Varianza Total
	$\hat{\sigma}_s^2$	$\hat{\sigma}_{bs}^2$	$\hat{\sigma}_{f(s)}^2$	$\hat{\sigma}_{bf(s)}^2$	$\hat{\sigma}_w^2$	
g	2	6	40	101	1063	
Peso seco tallo (g)	1.50*	0.90	5.34**	5.33	86.93	121.70
Peso seco hojas (g)	0.53ns	1.03	7.40**	4.04	87.00	11.70
Peso seco ramas (g)	1.94*	0.80	2.20ns	4.58	90.48	60.42
Biomasa aérea (g)	1.42*	0.81	4.84**	5.13	87.80	430.90
Biomasa de raíz (g)	1.70**	3.43	2.40ns	11.30	81.17	52.14

$\hat{\sigma}_s^2$ = Varianza entre especies; $\hat{\sigma}_{bs}^2$ = Varianza de la interacción bloque por especies; $\hat{\sigma}_{f(s)}^2$ = Varianza entre familias dentro de especies; $\hat{\sigma}_{bf(s)}^2$ = Varianza entre parcelas; $\hat{\sigma}_w^2$ = Varianza dentro de parcelas; Componentes de varianza expresados en % de la varianza fenotípica total. $\hat{\sigma}_T$ = Valor absoluto de la varianza total; * = Significativo con ($P \leq 0.05$); ** = Significativo con ($P \leq 0.01$); ns = No significativo.

El peso seco promedio del tallo en el ensayo fue de 9.9 g, con una variación entre especies de 9.4 a 11.4 g valores de *E. resinifera* y *E. rudis*, respectivamente, equivalente a una diferencia del 21 % entre ellas (Cuadro 5). En familias extremas el peso seco promedio del tallo fluctuó de 3.4 g en una familia de *E. resinifera* a 17.6 g en una familia de *E. rudis*. La familia que presentó el valor promedio máximo pertenece a la especie con mayor valor promedio. Como era de esperarse, las familias que presentaron valores promedio extremos en el peso seco del tallo son las mismas que en el caso de la altura de planta, dado que ambas variables están relacionadas biológicamente.

CUADRO 5. Valores promedio a nivel de especies y valores extremos de las familias dentro de especies, de las características de acumulación y distribución de biomasa de plántulas de tres especies de *Eucalyptus* spp. evaluadas a los 7 meses de edad.

Variable	Media general	Especies		
		\bar{x} (Min.-Max.)	\bar{x} (Min.-Max.)	\bar{x} (Min.-Max.)
Peso seco tallo (g)	9.9	9.9 (5.7-10.8)	9.4 (3.4-17.1)	11.4 (4.9-17.6)
Peso seco hojas (g)	5.2	4.8 (3.8-5.0)	5.1 (2.8-7.3)	5.3 (3.7-7.4)
Peso seco ramas (g)	3.4	5.9 (2.8-6.7)	3.0 (0.4-8.2)	4.4 (0.6-9.2)
Biomasa aérea (g)	18.5	20.6 (12.3-22.5)	17.5 (6.9-31.6)	21.1 (8.9-33.2)
Biomasa de raíz (g)	6.6	2.8 (2.7-3.4)	6.8 (2.7-12.1)	6.7 (2.5-9.1)

El peso seco promedio de hojas en el ensayo fue de 5.2 g por planta a nivel de todas las especies de *Eucalyptus* incluidas en este estudio. Las diferencias en esta característica entre las especies extremas fueron menores del 10 %, y no fueron significativas estadísticamente (Cuadro 5). Sin embargo, a nivel de familia si hubo diferencias significativas en el peso seco de hojas, con valores promedio que variaron desde 2.8 g en una familia de *E. resinifera*, hasta 7.4 g en una familia de *E. rudis*. *E. resinifera* presentó una mayor diferencia en el peso seco de hojas entre las familias extremas (160 %), siguiendo *E. rudis* (100 %) y la menor diferencia se encontró entre las familias de *E. globulus* (32 %).

El peso seco promedio de ramas en este ensayo fue de 3.4 g. Valdez *et al.* (1998) encontró valores promedio mayores en el peso seco de ramas de *E. camaldulensis* a la misma edad, lo cual implica que en esa especie existe la tendencia a una mayor ramificación (i.e., mayor número de ramas y/o ramas de mayor tamaño). Las diferencias entre especies resultaron significativas, con una biomasa de ramas 97 % mayor en *E. globulus* que en *E. resinifera* (Cuadro 5). Aunque no se encontraron diferencias significativas a nivel de familias, las diferencias en el peso seco promedio de ramas entre familias extremas son muy amplias, especialmente en *E. rudis* y *E. resinifera* con valores promedio extremos de 0.4 a 8.2 g y de 0.6 a 9.2 g, respectivamente.

La biomasa aérea promedio de las plantas en el ensayo fue de 18.5 g. Las diferencias entre especies resultaron significativas ($P \leq 0.01$). La biomasa aérea promedio en ellas varió de 17.5 g en *E. resinifera* a 21.1 g en *E. rudis*, lo que representa una diferencia entre ellas del 20 % (Cuadro 5). Por otro lado, también se encontraron diferencias significativas entre familias en la biomasa aérea promedio, con diferencias de 6.9 a 33.2 g entre las familias extremas. Al igual que en las otras características, las familias de *E. resinifera* y *E. rudis* presentaron un mayor rango de variación que las familias de *E. globulus*.

La biomasa promedio de raíz en el ensayo fue de 6.6 g. Se encontraron diferencias significativas entre especies, con diferencias del más del doble entre las especies extremas, *E. globulus* y *E. resinifera* (Cuadro 5). Las familias de *E. resinifera* y *E. rudis* también presentaron un amplio rango de variación en los valores promedio para esta característica, pero las diferencias entre ellas no fueron significativas. En *E. camaldulensis* se encontraron resultados similares con respecto a la variación intraespecífica en esta característica (Valdez *et al.*, 1998).

CONCLUSIONES

Existe una variación significativa a nivel de especies y de familias dentro de especies en las características de crecimiento y arquitectura de la planta, con excepción del área foliar. En las variables de acumulación y distribución de biomasa se encontró una variación significativa a nivel de especies en la mayoría de las variables. A nivel de familias la variación fue significativa sólo en el peso seco del tallo, el peso seco de hojas y la biomasa de la parte aérea. En la mayoría de las variables *E. rudis* fue la especie que presentó los mayores valores promedio, aunque *E. resinifera* presentó la mayor biomasa de la raíz y *E. globulus* el mayor número y biomasa de ramas.

En términos generales se encontró una mayor variabilidad entre familias dentro de las especies que entre ellas para las variables evaluadas. Sin embargo, es necesario establecer ensayos con un número balanceado de familias para hacer una comparación más precisa entre especies como las incluidas en este estudio.

LITERATURA CITADA

- CAMPINHOS, E., Jr. 1999. Sustainable plantations of high-yield Eucalyptus trees for production of fiber: the Aracruz case. *New Forest* 17: 129-143.
- DANIEL, T. W.; HELMS J., A.; BACKER F., S. 1982. Principios de silvicultura. Trad. por R. Elizondo M. McGraw-Hill, México, D.F. 492 p.
- GARCÍA C., B.; BERMEJO V., B.; RAMÍREZ M., H. 1991. Determinación de ganancia genética en Eucalyptus camaldulensis Denh. mediante estudios de procedencias. *Revista Chapingo*, 75: 34-39.
- HERNÁNDEZ G., B. B. 1997. Selección familiar en plantas de Eucalyptus camaldulensis Dehnh., evaluadas bajo condiciones de salinidad en vivero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 69 p.
- LAMBETH, C.; MASATOSHI, E.; WRIGHT, J. 1994. Genetic analysis of 16 clonal trials of Eucalyptus grandis and comparisons with seedling checks. *For. Sci.* 40(3): 397-411.
- MANGIERI, R. H.; DIMITRI J., M. 1971. Los eucaliptos en la silvicultura. ACME, Buenos Aires, Argentina. 226 p.
- MORGENSTERN, E. K. 1996. Geographic variation in forest trees; Genetic basis and application of knowledge in silviculture. UBC Press, Vancouver. 209 p.
- RAMÍREZ H., C.; SIERRA R., E.; VARGAS H., J. J. 1995. Ensayo de evaluación genética de cocoite (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.), en Tabasco México. In: Resúmenes del II Congreso Mexicano Sobre los Recursos Forestales. Montecillo, Edo. de México. p. 14.
- ROBINSON, J. F.; BUIJTENEN, J.P. van ; LONG E., M. 1984. Traits measured on seedlings can be used to select for later volume of loblolly pine. *South. J. Appl. For.* 8(1): 59-63.
- SAS. 1988. SAS/STAT guide for personal computers. SAS Institute Inc., Cary, NC. 378 p.
- VALDEZ A, H. R.; VARGAS H., J. J.; JASSO M., J.; VELÁZQUEZ M., A. 1998. Variación genética en el crecimiento inicial de plántulas de eucalipto en condiciones moderadas de salinidad. *Agrociencia* 32: 349-355.
- VALENCIA M., S.; VARGAS H., J. J.; MOLINA G., J. D.; JASSO M., J. 1996. Control genético de la velocidad de crecimiento y características de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia* 30: 265-273.
- VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; ADAMS W., T. 1992. Age-age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas-Fir. *For. Sci.* 38(2): 467-477.
- ZOBEL, J. B. y J. T. TALBERT. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Trad. por M. Guzmán Ortiz. LIMUSA. México, D.F. 545 p.