

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN DOS CICLOS DE CRECIMIENTO DE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.

Manuel Marín Quintero¹, J. Jesús Vargas Hernández²,
Jesús Jasso Mata², Javier López Upton²

RESUMEN

En un ensayo de procedencias y progenies de *Gliricidia sepium* establecido en el estado de Veracruz, México, se estimó el control genético (heredabilidad) y las correlaciones fenotípicas y genéticas existentes entre las características de altura, producción de biomasa y arquitectura de la planta, en dos ciclos de crecimiento, con el propósito de determinar la estabilidad de los parámetros genéticos de un ciclo a otro. El ensayo incluyó un total de 79 familias de medios hermanos de nueve localidades (procedencias). En el primer ciclo de crecimiento, la altura de la planta tuvo una heredabilidad individual ($h^2_i=0.35$) mayor que el resto de las características evaluadas. En todas las características, la heredabilidad de las medias de familia (h^2_f) fue mayor que la heredabilidad individual (h^2_i). En todos los casos, tanto h^2_f como h^2_i disminuyeron considerablemente del primero al segundo ciclo, asociado a la variación entre las plantas en cuanto a la capacidad y velocidad de rebrote. Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las características de crecimiento en altura, diámetro y biomasa de la planta fueron positivas en los dos ciclos. En este caso, la selección de las mejores familias sin considerar a las procedencias de origen, podría dar una respuesta adecuada a la selección.

Palabras clave: Correlaciones genéticas, estabilidad, *Gliricidia sepium*, heredabilidad, prueba de progenie, selección.

ABSTRACT

In a *Gliricidia sepium* provenance and progeny essay established in the state of Veracruz, México, the genetic control (heredability) and phenotypic and genetic relationships between height, biomass production and plant architecture were

Fecha de recepción: 18 de enero de 2001

Fecha de aceptación: 24 de julio de 2002

¹ INIFAP CIR-Sureste. C.E. Chiná, Km. 16.5 carretera Campeche-Pocuyaxum, C.P. 24000, Campeche Camp. Correo-e: cinzuma@hotmail.com

² Especialidad Forestal. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.

assessed during two growth cycles in order to determine the stability of genetic parameters between cycles. Seventy nine half-sib families from 9 seed sources were included in the field experiment. During the first growth cycle, individual-tree heredability for plant height ($h^2=0.35$) was higher than for the other growth characteristics. Family heredability (h^2_f) was higher than individual-tree heredability (h^2_i) in all characteristics. Both h^2_f and h^2_i decreased significantly from the first to the second cycle, associated to variation between plants in sprouting capacity and rate. The genetic and phenotypic correlations between height, growth, diameter and plant biomass were positive in both cycles. In this case, selection of the best families, regardless of seed source, could give a right response to selection.

Key words: Genetic correlations, stability, *Gliricidia sepium*, heredability, progeny test, growth selection.

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas forestales tropicales se integra una gran diversidad de recursos genéticos vegetales; sin embargo, debido al desconocimiento de los usos posibles de la mayoría de las especies, esta diversidad se desperdicia. El cocoite (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.), es una especie nativa de México considerada como árbol de uso múltiple que no ha sido aprovechada ni cultivada de forma intensiva como en otras regiones del mundo (Stewart *et al.*, 1996). Además, tiene un alto potencial maderable para las construcciones rurales, postes para cercos, leña y carbón, así como especie ornamental, forraje, melífera y en la recuperación de suelos degradados, entre otros.

En México, el cocoite se utiliza como planta productora de sombra para las plantaciones de café y cacao, como cerco vivo (Vera, 1987) y en la producción de leña y carbón (Llera, 1993). Además, por su capacidad de fijar nitrógeno, ofrece un alto potencial en la producción de forraje de calidad (Benneker y Vargas, 1994) y follaje para la elaboración de abono verde; por lo tanto, es un elemento importante en los sistemas agroforestales de cultivo en callejones. (Sanginga *et al.*, 1991).

Gliricidia sepium se distribuye en el trópico mexicano, desde los estados de Sinaloa y Tamaulipas en las vertientes del Océano Pacífico y Golfo de México respectivamente, hasta la Península de Yucatán, a partir de donde continúa hasta Panamá (Hughes, 1987).

Por su amplia distribución natural y de potencial de uso y el creciente interés para lograr su domesticación y cultivo intensivo de esta especie, se consideró

conveniente establecer una población base con una diversidad genética suficiente para iniciar un programa de mejoramiento genético que contemple la evaluación y selección de las mejores procedencias para las diferentes condiciones ambientales (Chang y Martínez, 1985). Además, de esta manera se logra la conservación del germoplasma para utilizarse en diferentes sistemas de producción, incluyendo los agroforestales (Brewbaker, 1990; Oxford, 1994).

En 1993 dentro del Programa Forestal del Colegio de Postgraduados se inició un proyecto de recolección y evaluación de germoplasma de cocoite en el centro y sur de México con el propósito de establecer la población base para un programa de mejoramiento genético de la especie. Con el germoplasma recolectado se estableció un ensayo en el Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados para seleccionar los genotipos más productivos en ese sitio. En el presente estudio se analizan los datos obtenidos en ese ensayo durante dos ciclos de crecimiento con los siguientes objetivos:

- a) Estimar el control genético (heredabilidad) de las características de crecimiento en altura, producción de biomasa y arquitectura de la planta (número de ramas laterales y basales);
- b) Determinar las correlaciones fenotípicas y genéticas existentes entre estas características; y
- c) Establecer si el ciclo de crecimiento influye sobre la estimación de los parámetros anteriores de heredabilidad y de correlación entre las características.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del ensayo

El ensayo se estableció en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Tepetates, Veracruz, que se localiza a una altitud de 20 m y a los 19° 10' N y 96° 16' W, donde el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación es estacional, con un período de secas que abarca de noviembre a mayo y otro de lluvias de junio a octubre, con una precipitación anual promedio de 1350 mm. El suelo es de textura franco arcillosa (Ortega, 1991).

El material biológico estuvo representado por el germoplasma de 79 árboles individuales de *Gliricidia sepium* procedentes de nueve localidades de los estados de Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero (Cuadro 1). La semilla se mantuvo separada por árboles individuales, por lo que cada lote representa a una familia de medios hermanos, obtenida por polinización libre. La semilla se sembró en bolsas

Cuadro 1. Localización geográfica y principales características de las procedencias estudiadas de *Gliricidia sepium* (Jacq.)Walp.

Procedencia	Familias (N)	Longitud (W)	Latitud (N)	Altitud (msnm)	Temp. media [†] (°C)	PP. anual [†] (mm)	Meses secos [‡] (N)
1. Barroso, Ver.	8	95° 06'	18° 20'	120	24.8	1,862	6
2. Alvarado, Ver.	10	95° 40'	18° 45'	20	26.3	1,880	6
3. B. del Río, Ver.	7	96° 03'	19° 05'	15	26.0	1,600	5
4. Tepetates, Ver.	7	96° 20'	19° 12'	70	24.9	1,350	7
5. Cardel, Ver.	9	96° 20'	19° 20'	30	25.3	1,301	6
6. Palma Sola Ver.	10	96° 25'	19° 46'	30	24.5	1,356	7
7. Los Amates, Pue.	8	96° 25'	18° 28'	1,110	22.4	829	6-7
8. San Mateo, Oax.	10	94° 58'	16° 40'	150	27.0	908	6-7
9. San Marcos, Gro.	10	99° 48'	16° 48'	300	27.4	1,278	6

[†]Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (1976).

[‡]Meses con precipitación menor de 60 mm

de polietileno de 20 cm de alto por 10 cm de diámetro. Ocho semanas después se realizó la plantación en campo, con un espaciamiento de 1x1 m.

Se aplicó un diseño experimental de parcelas divididas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las procedencias se asignaron a las parcelas grandes y las familias (progenies) a las parcelas chicas. En cada bloque se distribuyeron las procedencias y las familias en parcelas paralelas a la pendiente, con el propósito de que las familias estuvieran expuestas a la mayor variación posible dentro del bloque. Las familias se establecieron en parcelas lineales de cinco plantas, por lo que cada familia estuvo representada por un total de 20 individuos en todo el ensayo.

VARIABLES EVALUADAS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Durante el primer ciclo de crecimiento se midió la altura de la planta y el número de ramas a los tres y cinco meses de edad; a los siete meses se midió nuevamente la altura, el diámetro en la base del tallo y la biomasa aérea (peso seco de tallo y follaje) mediante un análisis destructivo, para terminar con el primer ciclo de evaluación. En el segundo ciclo de crecimiento se evaluó la capacidad de rebrote, determinando la supervivencia de las plantas y el número

de brotes por tocón a los cuatro meses después de la cosecha realizada en el primer ciclo. Además, a los cuatro, siete y diez meses de edad de los rebrotes, se registró la altura del tallo principal de cada planta, el número de ramas basales, el número de ramas laterales, el diámetro del tallo y la biomasa aérea de la planta. A diferencia del primer ciclo, la producción de biomasa en el segundo ciclo se estimó con base en una ecuación de regresión del peso seco en relación con el peso fresco de la parte aérea de la planta, obtenida a partir de una muestra de 180 plantas de diferentes tamaños y procedencias del ensayo.

El análisis estadístico de la información se realizó de acuerdo al modelo de análisis de varianza presentado en el Cuadro 2 utilizando el procedimiento GLM del paquete SAS (SAS, 1990). Con base en la estructura de los cuadrados medios esperados de cada fuente de variación, se estimaron los componentes de varianza de las procedencias y de las familias dentro de procedencias, así como las varianzas entre y dentro de las parcelas. A partir de éstas se estimaron las varianzas y covarianzas genéticas y fenotípicas, y las heredabilidades en sentido estricto a nivel individual y de las medias de familia, de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Falconer, 1986; Li *et al.*, 1993):

Varianza fenotípica ($\sigma^2_{P_i}$) =	$\sigma^2_{F(P)} + \sigma^2_{B \cdot F(P)} + \sigma^2_W$
Varianza fenotípica de las medias de familias ($\sigma^2_{P_f}$) =	$CM_{F(P)} / k_3$
Varianza aditiva (σ^2_A) =	$4 (\sigma^2_{F(P)})$
Heredabilidad individual (h^2_i) =	$\sigma^2_A / \sigma^2_{P_i}$
Heredabilidad de las medias de familias (h^2_F) =	$\sigma^2_{F(P)} / \sigma^2_{P_f}$

Donde:

$\sigma^2_{F(P)}$ =	varianza de familias dentro de procedencias;
$\sigma^2_{B \cdot F(P)}$ =	varianza entre parcelas;
σ^2_W =	varianza dentro de parcelas;
$CM_{F(P)}$ =	cuadrado medio de familia dentro de procedencias; y
k_3 =	coeficiente asociado a la varianza de familias dentro de procedencias, equivalente a la media armónica del número de árboles por familia en el ensayo (Cuadro 2).

Con las varianzas y covarianzas genéticas entre las características evaluadas en cada ciclo, se estimaron las correlaciones genéticas entre ellas, de acuerdo con la fórmula presentada por Falconer (1986). Además, con los valores de crecimiento y producción de biomasa de las plantas en cada uno de los ciclos, se estimaron las correlaciones fenotípicas entre el comportamiento de las plantas en los dos ciclos, a nivel de procedencias y de familias.

Cuadro 2. Componentes de los cuadrados medios esperados en el análisis de varianza de las características de crecimiento y arquitectura de la planta.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Estructura de los Cuadrados Medios Esperados [†]
Bloques (B)	b - 1	CM _B	$\sigma^2_W + k_{10} \sigma^2_{B \cdot F(P)} + k_{11} \sigma^2_{B \cdot P} + k_{12} \sigma^2_B$
Procedencias (P)	p - 1	CM _P	$\sigma^2_W + k_6 \sigma^2_{B \cdot F(P)} + k_7 \sigma^2_{F(P)} + k_8 \sigma^2_{B \cdot P} + k_9 \sigma^2_P$
B*P	(b - 1)(p - 1)	CM _{B*P}	$\sigma^2_W + k_4 \sigma^2_{B \cdot F(P)} + k_5 \sigma^2_{B \cdot P}$
Familias [F(P)]	(f - 1)p	CM _{F(P)}	$\sigma^2_W + k_2 \sigma^2_{B \cdot F(P)} + k_3 \sigma^2_{F(P)}$
B*F(P)	(b - 1)(f - 1)p	CMe	$\sigma^2_W + k_1 \sigma^2_{B \cdot F(P)}$
Error	Diferencia	CM _W	σ^2_W

[†]En los análisis de covarianza se substituye el cuadrado medio esperado por los productos cruzados medios esperados.

k_i = coeficiente asociado a cada componente de varianza.

σ^2_W = varianza dentro de parcelas.

$\sigma^2_{B \cdot F(P)}$ = varianza entre parcelas.

$\sigma^2_{F(P)}$ = varianza de familias dentro de procedencias.

$\sigma^2_{B \cdot P}$ = varianza de la interacción de bloques x procedencias.

σ^2_P = varianza de procedencias.

σ^2_B = varianza de bloques.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Heredabilidades

En el primer ciclo de crecimiento, las heredabilidades individuales (h^2_i) variaron desde 0.14 hasta 0.35 en las características evaluadas que mostraron una variación significativa ($p \leq 0.05$) entre las familias dentro de las procedencias (Cuadro 3). La heredabilidad de la característica de crecimiento en altura fue mayor que la de las demás características, y más del doble que la del crecimiento en diámetro. Las características de número de ramas laterales y peso seco total presentaron heredabilidades ligeramente menores que en el caso del crecimiento en altura; sin embargo, los valores del coeficiente de variación fenotípica de éstas fueron relativamente elevados ($> 80\%$), por lo que se esperaría una buena respuesta a la selección individual, siempre y cuando se utilice un diferencial de selección grande.

Las heredabilidades a nivel de las medias de las familias (h^2_F) fueron mayores que las heredabilidades individuales, con una magnitud de casi el doble de ésta en todas las características; los valores de h^2_F variaron desde 0.23 para el crecimiento en diámetro y biomasa hasta 0.54 en el caso del crecimiento en altura. Estos resultados demuestran que la selección familiar también podría

aprovecharse y asegurar ganancias considerables, siempre y cuando se utilice un diferencial de selección lo suficientemente grande; sin embargo, es probable que la selección individual proporcione mejores resultados, ya que aunque las heredabilidades son ligeramente menores, tanto el coeficiente de variación fenotípica existente a nivel individual como el diferencial de selección que se puede utilizar en este caso, fueron mucho mayores.

En el segundo ciclo de crecimiento, las heredabilidades individuales fueron muy bajas (Cuadro 3), ya que variaron de 0.03 hasta 0.15, y sólo en el caso del número de ramas laterales a los siete meses de edad y del número de ramas basales a los 10 meses de edad, el componente de varianza de las familias fue significativo estadísticamente ($p \leq 0.05$). En este caso, las heredabilidades a nivel de medias de las familias también fueron menores que en el primer ciclo; en la mayoría de las características, la heredabilidad de las medias de la familia fue menor que los respectivos valores de h^2 . Además, los errores estándar fueron mucho mayores que en el primer ciclo, lo que indica una baja precisión en la estimación de la posible respuesta a la selección. Debido a la alta variación

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de procedencias y progenies durante los dos ciclos de crecimiento estudiados de *Gliricidia sepium*.

Variable [†]	Edad Meses	Componente de Varianza		Coeficiente de Variación (%)		Heredabilidad	
		σ^2_A	$\sigma^2_{P_i}$	A	P	h^2_i	h^2_F
(a) Primer ciclo de crecimiento:							
Altura	5	64.12**	185.87	16.3	28.0	0.35	0.54
	7	135.44**	527.15	13.4	26.5	0.26	0.41
Diámetro	7	1.40 *	10.09	9.3	25.0	0.14	0.23
Ramas Laterales	3	0.37**	1.82	76.0	168.6	0.20	0.41
Biomasa Total	7	4187.52**	3016.40	32.3	80.3	0.16	0.23
(b) Segundo ciclo de crecimiento:							
Altura	4	14.64ns	502.74	7.1	41.5	0.03	0.02
Ramas Laterales	7	0.01 *	0.08	25.0	72.0	0.12	0.07
Ramas Laterales	10	0.01ns	0.35	3.4	17.0	0.04	0.02
Ramas Basales	10	0.01*	0.08	12.4	32.3	0.15	0.08

[†]Solo se presentan las variables en donde el componente estimado de varianza de familias fue positivo.

**Significativo con $p \leq 0.01$; *Significativo con $p \leq 0.05$; ^{ns}No significativo.

fenotípica observada entre las familias en el crecimiento en altura y la producción de biomasa, sería conveniente utilizar únicamente las familias con mayores valores promedio dentro de cada población.

El aumento de la variación ambiental intrapoblacional en el segundo ciclo de crecimiento posiblemente se deba a que la capacidad de rebrote de las poblaciones tuvo una variación muy grande. Dentro de cada población también se manifestó esta variación en todas las variables estudiadas. Además, la velocidad de crecimiento de los rebrotes no fue uniforme entre y dentro de cada población, lo que ocasionó que la variación entre y dentro de las poblaciones fuera mayor que la observada durante el primer ciclo de crecimiento.

Se podría considerar a todas las familias establecidas como una sola población, si se continúa con la evaluación de estas poblaciones en el sitio. Si las plantas presentes en el ensayo representan a la población base, a partir de la cual se seleccionará el germoplasma derivado del libre cruzamiento de los individuos para procrear a la siguiente generación, es posible reestimar nuevamente los valores de h^2_I y h^2_F con base en un modelo reducido que no incluya la fuente de variación de procedencias.

Al estimar la heredabilidad con este modelo, los valores mejoraron considerablemente en los dos ciclos de crecimiento para la mayoría de las variables, ya que la variación atribuida a procedencias se incorpora a la variación entre las familias. En el caso del segundo ciclo de crecimiento, tanto las heredabilidades individuales como las de las medias de las familias, aumentaron casi al doble. En este caso, las heredabilidades individuales variaron de 0.06 hasta 0.29 y las heredabilidades de las medias de las familias de 0.10 hasta 0.43.

Dependiendo de la característica, el comportamiento de las heredabilidades en edades tempranas muestra una tendencia a modificarse de un ciclo a otro, como se pudo confirmar en el presente estudio, lo que se atribuye a cambios ocurridos con la variación microambiental en el sitio de la plantación (Meier y Goggans, 1977; Balocchi *et al.*, 1993). Esto podría ser una explicación de las diferencias encontradas durante los dos ciclos de crecimiento en el presente estudio.

Correlaciones genéticas y fenotípicas

Las correlaciones genéticas (r_{GA}) entre las variables de crecimiento (altura y diámetro) y el peso seco total durante el primer ciclo de cultivo fueron positivas, y relativamente elevadas (> 0.50), aunque con errores estándar también altos

(Cuadro 4). La fuerte correlación entre altura y diámetro ($r_{GA} = 0.77$) posiblemente se deba a que los genes que influyen sobre una característica también lo hacen sobre la otra. En teoría, las correlaciones genéticas se pueden deber a la acción de los mismos genes, o al efecto de ligamiento entre genes muy cercanos (Falconer, 1986). La correlación genética entre estas variables y el peso seco total fue también grande, ya que la segunda es una función de las otras dos.

En contraste, las correlaciones genéticas entre las características de crecimiento (altura, diámetro y peso seco) y el número de ramas laterales resultaron negativas y débiles, excepto en el caso del diámetro ($r_{GA} = -0.43$), donde fue un poco más fuerte. Esto indica que al seleccionar individuos o familias con mayor diámetro del tallo se tendría una reducción en el número de ramas y viceversa.

Debido a que la mayoría de las variables de crecimiento evaluadas en el segundo ciclo de crecimiento no mostraron diferencias significativas entre las familias, no fue posible estimar las correlaciones genéticas entre ellas (en teoría, esas correlaciones genéticas deben ser cercanas o iguales a 0, ya que la covarianza genética entre ellas no fue significativa). Sin embargo, en el caso de las variables donde sí existieron diferencias significativas entre las familias, durante el segundo ciclo (Cuadro 4), las correlaciones genéticas entre ellas también fueron relativamente débiles ($r_G < 0.40$), aunque tanto de signo positivo, (entre la altura y el número de ramas basales) como negativo (entre la altura y el número de ramas laterales).

En este caso, es importante señalar que la correlación genética entre la altura a los cuatro meses de edad y el número de ramas basales a los 10 meses de edad, fue moderada y positiva ($r_G = 0.38$); aunque esta correlación es ligeramente débil, es posible que no se pudieran obtener buenos resultados en la selección simultánea de crecimiento y arquitectura de las plantas, ya que por los múltiples usos de la especie, las necesidades de mejoramiento cambiarán conforme al uso al que se le destine.

Los análisis de varianza realizados mostraron que, en la mayoría de los casos, la contribución de las procedencias a la variación total de las características fue relativamente importante. Dado que las familias se encuentran anidadas dentro de las procedencias, al utilizar los componentes de varianza y covarianza de las familias para estimar las varianzas y covarianzas genéticas, no se está considerando la participación de las procedencias como fuente de varianza y covarianza entre las características. Al estimar nuevamente las correlaciones genéticas existentes entre las características, incluyendo al componente de

Cuadro 4. Correlaciones genéticas durante el primer (a) y segundo (b) ciclo de crecimiento de las plantas, entre las variables de crecimiento, arquitectura de la planta y producción de biomasa, en un ensayo de procedencias y progenies de *Gliricidia sepium*.

(a) Primer ciclo de crecimiento				
	Altura (7 meses)	Diámetro (7 meses)	Ramas laterales (3 meses)	Biomasa aérea (10 meses)
Altura (5 meses)	0.97 (0.79)*	0.77 (0.57)	-0.01 (0.08)	0.55 (0.60)
Altura (7 meses)		0.82 (0.71)	-0.11 (0.10)	0.72 (0.72)
Diámetro (7 meses)			-0.43 (0.08)	0.62 (0.60)
Ramas laterales (5 meses)				-0.01 (0.22)
(b) Segundo ciclo de crecimiento				
	Ramas laterales (7 meses)	Ramas laterales (10 meses)	Ramas basales (10 meses)	
Altura (4 meses)	-0.33 (0.42)	-0.11 (0.06)	0.38 (0.31)	
Ramas laterales (7 meses)		-0.38 (0.05)	0.01 (0.04)	
Ramas laterales (10 meses)			0.25 (0.09)	

* Error estándar estimado

varianza de procedencias como parte de la variación existente entre las familias, las correlaciones genéticas en el primer ciclo de crecimiento fueron similares a las del modelo en el que se incluyeron las procedencias. Sin embargo, en el segundo ciclo de crecimiento, las correlaciones genéticas entre las características de crecimiento y la producción de biomasa aumentaron ligeramente; también aumentaron las correlaciones de estas características con la producción de ramas ($r_G > 0.30$), así como entre las ramas basales y las ramas laterales ($r_G > 0.40$), lo cual indica que los individuos de las poblaciones con mayor número de ramas basales tienen también un mayor número de ramas laterales; esto es importante en la selección de familias con estas características, sobre todo para la producción de forraje y/o de producción de abono verde en los sistemas agroforestales.

Las correlaciones fenotípicas a nivel de procedencias ($n=9$) para las características de crecimiento, arquitectura y producción de biomasa entre los dos ciclos de crecimiento (Cuadro 5) fueron positivas y significativas ($p \leq 0.05$) solamente para diámetro ($r_P = 0.61$) y altura ($r_P = 0.58$), y positivas pero no significativas en el caso del número de ramas laterales ($r_P = 0.32$) y peso seco

total ($r_p = 0.46$). Esto indica que hay una moderada estabilidad entre el comportamiento de estas características de las poblaciones en los dos ciclos de crecimiento.

También se encontró que la altura de las plantas en el primer ciclo tuvo una asociación positiva significativa ($r_p = 0.59$) con el diámetro del tallo en el segundo ciclo y ligeramente menor con el número de ramas laterales y el peso seco total. Esto es importante, ya que a pesar de la moderada capacidad de rebrote, las poblaciones con un buen crecimiento en el primer ciclo también lo tuvieron en el segundo. En este caso, las procedencias de Tepetates y Barroso manifestaron el mejor comportamiento en ambos ciclos para altura, diámetro y peso seco total, y las procedencias de San Marcos, Cardel, Los Amates y Tepetates lo hicieron el mayor número de ramas en los dos ciclos de crecimiento.

Las correlaciones fenotípicas a nivel de medias de familia ($n=79$) entre las características de crecimiento, arquitectura de la planta y producción de biomasa en los dos ciclos de crecimiento (Cuadro 5) fueron positivas y significativas ($p \leq 0.01$) para altura y peso seco total, pero no significativas para diámetro del tallo y número de ramas. La correlación fenotípica entre el diámetro del tallo al final del

Cuadro 5. Correlaciones fenotípicas a nivel de procedencias (a) y de familias (b) entre las variables de crecimiento, arquitectura de la planta y producción de biomasa al final de los dos ciclos de crecimiento, en un ensayo de *Gliricidia sepium*.

Ciclo 1	Ciclo 2			
	Altura	Diámetro	Ramas laterales (N)	Peso seco total
a) Procedencias (n=9):				
Altura	0.58 *	0.59 *	0.42	0.53
Diámetro	-0.30	0.61*	-0.37	-0.15
No. de ramas laterales	0.44	-0.58*	0.32	0.47
Peso seco total	0.36	-0.01	0.24	0.46
b) Familias (n=79):				
Altura	0.46**	0.36**	0.06	0.42**
Diámetro	0.18	0.18	-0.01	0.23*
No. de ramas laterales	-0.12	-0.02	0.14	-0.02
Peso seco total	0.23*	0.15	0.11	0.30**

**Significativo con $p \leq 0.01$;

* Significativo con $p \leq 0.05$

primer ciclo de crecimiento fue positiva con el crecimiento en altura y la producción de biomasa del segundo ciclo, pero fue prácticamente independiente del número de ramas. Las correlaciones fenotípicas entre el número de ramas y las características de crecimiento fueron negativas aunque bastante bajas, por lo que no tendrían mayor impacto desde el punto de vista de una respuesta de selección.

Las correlaciones estimadas en el presente estudio son ligeramente menores que las obtenidas por Liyanaje *et al.*, (1991) en cocoite en condiciones de baja humedad de Sri Lanka, donde la altura del árbol se correlacionó de forma positiva con la biomasa del follaje ($r = 0.56$) y con la biomasa total ($r = 0.64$). Los valores bajos de las correlaciones fenotípicas entre el número de ramas y las otras características de crecimiento evaluadas en *Gliricidia sepium* en el presente estudio también coinciden con los datos obtenidos por King *et al.*, (1992), quienes encontraron una correlación fenotípica muy baja entre el número de ramas y las características de altura, diámetro y volumen aunque también encontraron una fuerte correlación genética entre el número de ramas y el volumen ($r = 0.71$) y diámetro del tallo ($r = 0.67$).

Con los valores de heredabilidad, coeficientes de variación, y correlaciones genéticas y fenotípicas presentados en párrafos anteriores, se pueden comparar diferentes esquemas de selección. Dado que en la evaluación del segundo ciclo no se encontró una variación significativa en la mayoría de las características entre las familias dentro de las procedencias, se podrían seleccionar únicamente las mejores, sobre todo aquellas en las que el valor promedio de las características de interés sea mayor a la media general; así, a partir de los resultados obtenidos en cuanto a crecimientos en altura y producción de biomasa en ambos ciclos, las mejores procedencias, y por lo tanto, las más adecuadas para la selección, corresponden a Barroso, Tepetates y Alvarado. Sin embargo, en Barroso se presentó también la menor capacidad de rebrote, lo cual pudiera ser un fuerte inconveniente para considerarla como alternativa para la selección de material; en contraste, la procedencia de Tepetates y la de Alvarado sí tendrían buenas características ya que presentaron la mayor capacidad de rebrote además de buen crecimiento.

Un inconveniente de realizar la selección únicamente a nivel de procedencias es el hecho de que una base genética reducida, lo que podría ocasionar problemas de adaptabilidad y endogamia en las siguientes generaciones. La selección de las mejores familias dentro de las mejores procedencias, o la selección de las mejores familias dentro de cada procedencia permitiría asegurar una base genética lo suficientemente amplia para minimizar los problemas de endogamia en el futuro. Sin embargo, aunque se tienen procedencias con valores promedio que

sobresalen de la media poblacional en las características de crecimiento en altura, diámetro y producción de biomasa, la gran variación fenotípica que existe a nivel intrapoblacional limitaría la efectividad de la selección. Bajo esta opción se incluirían familias dentro de las procedencias con pocas posibilidades de obtener ganancias convenientes, además de que no se incluiría a las familias con mayores valores promedio de biomasa.

Una variante de esta opción sería realizar la selección de las mejores familias independientemente de la procedencia, para las características de altura, diámetro y peso seco total, con lo cual se tendría una adecuada base genética en la población seleccionada, ya que estarían representadas, al menos, cinco procedencias distintas. En este grupo estarían incluidas las familias que presentaron una buena estabilidad en su crecimiento durante los dos ciclos de evaluación. Lo anterior favorecería, además, la obtención de mayores ganancias genéticas que si la selección se realiza exclusivamente a nivel de procedencias.

En el caso del número de ramas, se puede dirigir la selección hacia árboles con un número grande o reducido de ramas según las preferencias. En el primer caso, se podrían seleccionar las familias que sobresalieron en la formación de ramas, con la finalidad de producir mayor cantidad de biomasa y/o abono verde, características que son importantes en la producción de forraje y en los sistemas agroforestales de cultivos en callejones; posteriormente sería necesario evaluar otras características como la fijación de nitrógeno y calidad nutricional del forraje. En el segundo caso, se podrían seleccionar las familias que presentaron menor número de ramas, con el propósito de obtener árboles de mejor calidad de madera, con mayor porte y mejor rendimiento en volumen tanto para combustible, así como para la generación de sombra para cultivos agrícolas, o bien, para la producción de postes para cercos vivos.

CONCLUSIONES

Las heredabilidades de las características evaluadas en las plantas disminuyeron considerablemente del primero al segundo ciclo de crecimiento, tanto a nivel individual como de las medias de familias. Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre el primero y el segundo ciclos fueron positivas para las características de crecimiento en altura, diámetro y peso seco total. Las correlaciones entre estas características y el número de ramas fueron negativas, pero muy bajas, por lo que prácticamente son independientes unas de otras.

Debido a los cambios ocurridos en los parámetros genéticos de las características de crecimiento en altura y diámetro, el número de ramas y la producción de biomasa al considerar a todas las familias como parte de una sola

población, la selección de las mejores familias sin considerar a las procedencias, podría dar una respuesta adecuada a la selección, además de favorecer la inclusión de una base genética más amplia en la población seleccionada. Esto ayudaría a reducir los problemas de endogamia en las siguientes generaciones de selección.

AGRADECIMIENTOS

La colecta del germoplasma y el establecimiento del ensayo de evaluación fueron realizados por personal del Colegio de Postgraduados, como parte del proyecto 1306-A9206 financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

REFERENCIAS

- Balocchi, C. E., F. E. Bridgwater, B. J. Zobel and S. Jahromi. 1993. Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of loblolly pine. *Forest Sci.* 39 (2): 231-251.
- Benneker, C. and J. E. Vargas. 1994. Estudio del consumo voluntario de 5 ecotipos de matarratón realizado con ovejas africanas bajo tres dietas diferentes. *In: Livestock Research for Rural Development* 6 (1): 81-84.
- Brewbaker, J. L. 1990. Genetic improvement of multipurpose trees for agroforestry systems. Congress Report. Vol. B. Proceedings 19th IUFRO World Congress, Montreal, Canada. pp. 304-315.
- Chang, B. y H. Martínez. 1985. Recolección de semillas de *Gliricidia sepium* en América Central para ensayos de procedencias. *Rec. Gen. Forestales Inf.* 14: 57-62.
- Falconer, D. S. 1986. Introducción a la genética cuantitativa. Compañía Editorial Continental. México. 383 p.
- Hughes, C. E. 1987. Biological consideration in designing a seed collection strategy for *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (Leguminosae). *In: D. Withington, N. Glover, and J.L. Brewbaker (Eds.). Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: Management and improvement. Proceedings of a workshop held at CATIE, Turrialba, Costa Rica. Nitrogen Fixing Tree Association, Special Publication 87-01. pp. 174-178.
- King, J. N., F.C. Yeh, J.C. Heaman and B.P. Dancik. 1992. Selection of crown form in controlled crosses of coastal Douglas-fir. *Silvae Genet.* 41(6):362-370.
- Li, P., J. Beaulieu, A. Corriveau and J. Bousquet. 1993. Genetic variation in juvenile growth and phenology in a white spruce provenance-progeny test. *Silvae Genetica* 42 (1): 52-60.

- Liyanaje, M., H. P. S. Jayasundara and L. V. K. Liyanaje. 1991. Evaluation of *Gliricidia sepium* provenances for the low country humid zone of Sri Lanka. *International Tree Crops Jour.* 7: 1-2.
- Llera Z., M. 1993. Análisis del crecimiento y distribución de biomasa en propágulos vegetativos y en plántulas de cocoite (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.) Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, México. 100 p.
- Meier, R.J. and J.F. Goggans. 1977. Heritabilities of height, diameter, and specific gravity of young virginia pine. *Forest Sci.* 23 (4): 450-456.
- Ortega J., E. 1991. Crecimiento y componentes morfológicos del rendimiento de estrella africana (*Cynodon plectostachyus* K. Schum Pilger) y guinea (*Panicum maximum* Jacq.) con diferentes frecuencias y alturas de defoliación en la región golfo-centro del Estado de Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, México. 144 p.
- Oxford Forestry Institute. 1994. *Gliricidia sepium*. Forestry Research Programme. University of Oxford, England. FRP/ODA. Poster Series 1.
- Sanginga, N., G. D. Bowen and S. K. A. Danso. 1991. Intra-specific variation in growth and P accumulation of *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* as influenced by soil phosphate status. *Plant and Soil* 133: 201-208.
- SAS Institute Inc. 1990. SAS/STAT User's guide. Version 6. 4th. edition. Cary, NC, USA. 378 p.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1976. Normales Climatológicas: Periodo 1940-1970. SAG. Dirección General de Geografía y Meteorología. México. 799 p.
- Stewart, J. L., G. E. Allison and A.J. Simons. 1996. *Gliricidia sepium*; Genetic resources for farmers. Tropical Forestry Papers no. 33. Oxford Forestry Institute, University of Oxford, U.K. 125 p.
- Vera C., G. 1987. Estado actual de la investigación en *Gliricidia sepium* (Jacq.), Walp. en México. In: Withington, D., N. Glover y J. L. Brewbaker (Eds.). *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: Management and improvement. Proceedings of a workshop held at CATIE, Turrialba, Costa Rica. Nitrogen Fixing Tree Asociation, Special Publication 87-01. pp. 185-189.