

Estrategia de mejoramiento genético de *Eucalyptus globulus* en Costa Rica

Olman Murillo ¹
Yorleny Badilla ²
German Obando ³

Abstract

Breeding strategy for *Eucalyptus globulus* in Costa Rica. Initial growth and first year mortality results of *Eucalyptus globulus* families in Cordillera Volcánica Central of Costa Rica are presented. The material was introduced to the country and planted in a special field design that allows its future conversion to a seedling seed orchard. Large and significative differences among life zones and altitudes were obtained for height growth and survival. The variable “summary of heights from all alive trees” registered a lower growth and survival at higher altitude, but a higher growth with higher pluviosity. From the initial 20 families which started the FUNDECOR-ITCR Tree Gene Conservation and Breeding Program, the top 7 families and their progenies were preliminary selected, in order to use them as the initial basis of a commercial clonal reforestation in the country. The genetic base of this Program must be broaden and the new introductions should be based on improved material and adapted to very

humid site conditions. The species *Eucalyptus globulus* exhibits a promissory future for the forestry development in the highlands of Costa Rica.

Resumen

Se presentan los resultados del crecimiento y mortalidad de familias de *Eucalyptus globulus* al primer año de plantadas en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. El material fue introducido al país y establecido bajo un diseño de campo que permite su conversión futura a huertos semilleros. Se obtuvieron altas diferencias significativas con la altitud y la zona de vida con respecto al crecimiento en altura y a la tasa de sobrevivencia. La variable compuesta, sumatoria de altura de individuos vivos, registró que a mayor altitud menor crecimiento y sobrevivencia, pero a mayor pluviosidad mayor crecimiento. De las 20 familias de *Eucalyptus globulus* con que inició el Programa de Conservación y Mejoramiento Genético Forestal del ITCR–FUNDECOR, se seleccionaron

¹ Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Fax: 591-4182. omurillo@itcr.ac.cr

² Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central. ybadilla@costarricense.cr

³ Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central. Fax: 766-6203. gobando@fundecor.or.cr

preliminarmente las mejores siete y sus progenies, con el fin de utilizarlas como base de un desarrollo de reforestación clonal comercial en el país. Se requiere ampliar la base genética del Programa con base en nuevas introducciones de material mejorado y adaptado a condiciones de alta precipitación. La especie *Eucalyptus globulus* muestra un futuro muy promisorio para el desarrollo forestal de las zonas altas de Costa Rica.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, crecimiento, mortalidad, Cordillera Volcánica Central, mejoramiento genético, reforestación.

Introducción

Los eucaliptos fueron introducidos en Costa Rica por el Estado desde los años sesenta, con el fin de reforestar cuencas hidrográficas, zonas afectadas por erupciones volcánicas y en los alrededores de los embalses de proyectos hidroeléctricos. El CATIE y la Dirección General Forestal (primer Servicio Forestal costarricense) introdujeron, en los años setenta, varias especies de eucaliptos mediante del establecimiento de parcelas permanentes y algunos ensayos de procedencias a lo largo del país (Martínez, 1981; Camacho, 1981). Sin embargo, la experiencia e información generada no permite aún identificar apropiadamente la especie/procedencia idónea para las distintas condiciones ecológicas del país. Debe agregarse que hoy, en las zonas altas del país (> 1000 m), la reforestación muestra los menores índices de productividad, y se basa casi exclusivamente en material no mejorado de ciprés (*Cupressus lusitanica*) y jaúl (*Alnus acuminata*) (Murillo *et al.*, 2000). Para el año 1995 se había estimado poco más de 7100 ha plantadas mayoritariamente con estas dos especies (Alfaro y Barrantes, 1995). Con posterior a esa fecha no se tienen

registros. Sin embargo, ambas especies han mostrado limitaciones en una gran cantidad de sitios donde predominan climas pluviales.

La necesidad creciente de reforestar las cuencas que abastecen numerosas plantas de generación hidroeléctrica, ubicadas típicamente en zonas de muy alta pluviosidad, así como los esfuerzos del sistema de pago por servicios ambientales para incrementar el área boscosa, han motivado la búsqueda de nuevas opciones de reforestación. Esta reforestación debe fundamentarse en especies aptas para estos sitios y basarse en material de mayor productividad y calidad. Bajo este marco se desarrolla en el país, desde hace tres años, un Programa de Conservación y Mejoramiento Genético Forestal, en un esfuerzo conjunto del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica (FUNDECOR) y la Fundación Internacional para las Ciencias (IFS) (Badilla, 1998). Los primeros resultados de los ensayos de selección de especies/progenies registran un alto potencial para el *Eucalyptus globulus* en zonas de vida pluviales, cuyos resultados se comparten en este documento.

Metodología

Como punto de partida se realizó una estratificación de la Cordillera Volcánica Central, en la que se determinaron las principales zonas ecológicas existentes y su potencial de reforestación. En cada una de las zonas ecológicas de mayor tamaño y potencial, se establecieron ensayos de comportamiento con ocho especies maderables: las especies nativas roble encino (*Quercus coopeyensis*), jaúl (*Alnus acuminata*), cedro dulce (*Cedrela tonduzii*), y tirrá (*Ulmus mexicana*) y las especies exóticas ciprés (*Cupressus lusitanica*), eucalipto de altura (*Eucalyptus*

globulus), pino patula (*Pinus patula*) y pino radiata (*Pinus radiata*). Estas especies se eligieron con base en la calidad de su madera (maderas duras y semiduras), facilidad de reproducción, amplia distribución natural, alto potencial de producción maderera, velocidad de crecimiento y, finalmente, su potencial en restauración de sitios naturales, entre otras posibilidades de importancia ecológica.

Para cada una de estas especies se colectó semilla de un número variable de árboles (entre 16 y 38 árboles semilleros por especie), con el fin de mantener una representatividad y amplia base genética para su futuro desarrollo en plantaciones forestales. Para el *Eucalyptus globulus* se introdujo semilla de 20 árboles plus del Programa de Mejoramiento Genético Forestal del Banco de Semillas Forestales

(BASFOR), de Cochabamba, Bolivia. En total se establecieron 12 parcelas de comprobación de 144 árboles cada una, repartidas en tres zonas de vida (Bosque Pluvial Premontano, Bosque muy Húmedo Montano Bajo y Bosque Pluvial Montano Bajo) y en cuatro repeticiones dentro de cada zona de vida. Estas 12 parcelas permitieron registrar el comportamiento de cada especie en tres zonas de vida, dos provincias de humedad (Muy Húmeda y Pluvial) y desde los 1000 metros hasta poco más de 2000 m de altitud.

La Fig. 1 muestra el diseño experimental empleado con las parcelas de comprobación, el cual permite un mejor control de la variabilidad del micrositio dentro de la parcela, así como una potencial conversión a huerto semillero de cada una de estas parcelas. En este diseño se evaluaron simultáneamente 8 especies

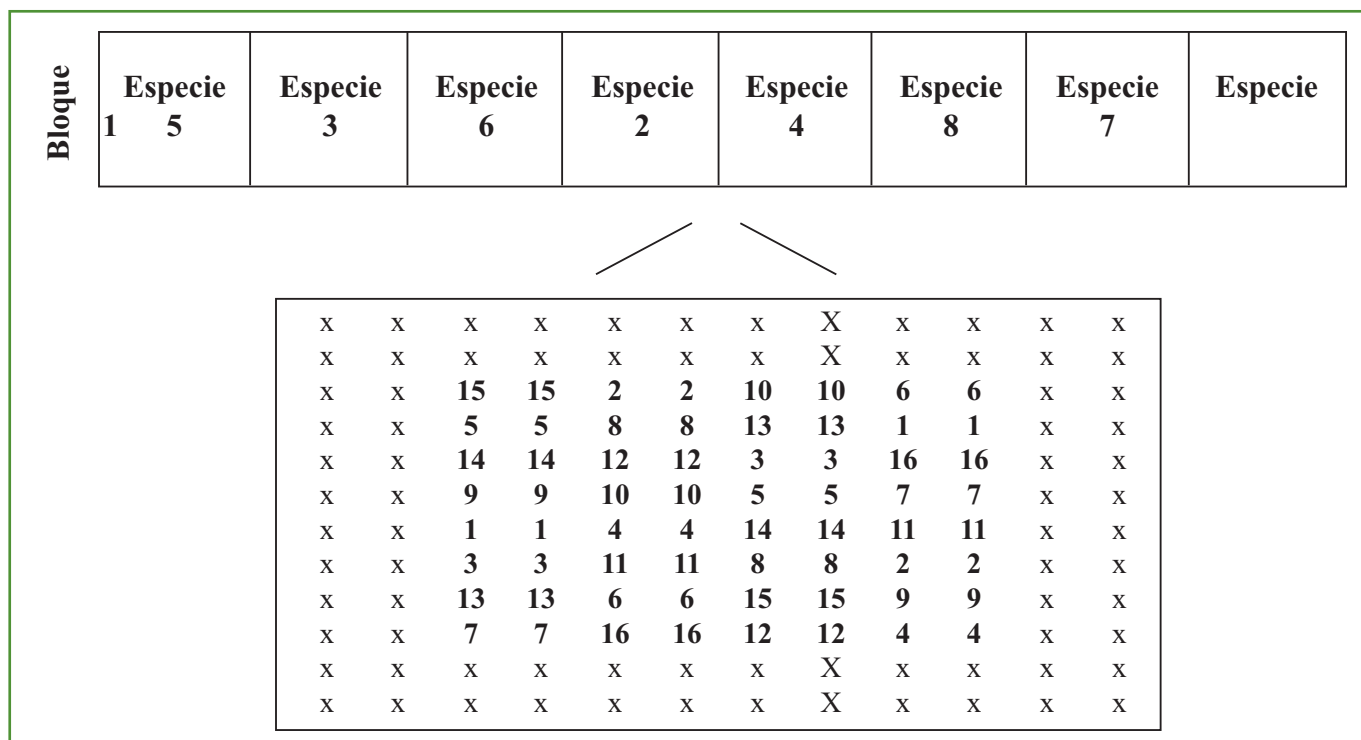


Figura 1
Diseño experimental utilizado en el Programa de Mejoramiento y Conservación Genética de Especies Forestales de Altura. Muestra de uno de los 12 bloques o repeticiones del ensayo.

(primer nivel) y 16 familias/repetición dentro de cada especie (segundo nivel).

En este estudio se realizó una evaluación de todas las parcelas establecidas para medir su mortalidad y altura total a los 6 y 12 meses de edad. La base de datos fue procesada en la hoja electrónica de EXCEL 2000. Para cada parcela (especie) de cada repetición, se obtuvo un porcentaje de mortalidad, que fue luego transformado $(\text{Mortalidad transformada} = \arccos(\sqrt{\%mortalidad}))$ para garantizar su normalidad y poder llevar a cabo los análisis de varianza. Los datos fueron analizados con el programa SAS (versión 1998) y se crearon varias bases de datos para determinar los efectos de la especie, altitud y zona de vida en la mortalidad y altura al año. Se creó una variable compuesta denominada sumatoria de alturas ($\sum h$), con el fin de poder combinar la altura total con la mortalidad. Para las tres variables (mortalidad, altura y sumatoria de alturas), se corrió el respectivo ANDEVA con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (versión 1998). El ANDEVA se basó en el modelo mixto, en el cual se consideró solamente a la zona de vida y a la altitud como efectos fijos.

El análisis de varianza para la variable altura se basó en la regresión:

$$\text{Altura} = \text{Zona de Vida} + \text{Familia} + \text{Bloque(ZV)} + \text{ZV} * \text{Familia} + \text{Familia} * \text{Bloque(ZV)} + \text{Pareja (Familia Bloque)}$$

El análisis de varianza para las variables mortalidad y sumatoria de alturas se basó en la regresión:

$$\text{Altura} = \text{Zona de Vida} + \text{Familia} + \text{Bloque(ZV)} + \text{ZV} * \text{Familia} + \text{Familia} * \text{Bloque(ZV)}$$

Cada una de las familias fue analizada genotípicamente por medio de la técnica de electroforesis en almidón. Se determinó el genotipo materno a partir

del genotipo de sus progenies (Murillo, en prensa) en los sistemas enzimáticos PGM, PGI y MNR, de acuerdo con los procedimientos estándar utilizados con esta técnica (Cheliak y Pittel, 1984; Murillo y Hattemer, 1997). La información fenotípica sobre crecimiento, rendimiento y calidad (altura, sobrevivencia, y variables de calidad del fuste), recién inicia su análisis de correlación contra la información genotípica. Con el uso de estos marcadores genéticos se espera completar a futuro los criterios de selección temprana y el manejo de la consanguinidad del Programa.

Resultados

De los Cuadros 1 y 2 se puede apreciar que no se obtuvieron diferencias significativas entre familias de *Eucalyptus globulus* en ninguna de las tres variables analizadas al primer año de plantación. Tampoco se registraron interacciones significativas de las familias con la zona de vida o con la altitud. En el Cuadro 3 se aprecian cambios importantes en la posición (*ranking*) de las familias en las distintas zonas de vida y bloques dentro de zonas de vida. Sin embargo, estos cambios no resultaron ser significativamente diferentes, debido a que la altura promedio de las familias fue muy similar en la mayoría de los sitios. Esto significa que al primer año de plantadas, las 20 familias evaluadas han mostrado estabilidad por medio de las distintas condiciones ecológicas de la Cordillera Volcánica Central del país. Las zonas de vida y la altitud propiciaron una alta diferenciación en el comportamiento general de las familias de este eucalipto, como era de esperar (Fig. 3). A mayor altitud se obtuvo menor crecimiento y mayor mortalidad; a mayor pluviosidad, mayor fue el crecimiento (Cuadro 3, Fig.3). En los sitios más altos y

condiciones de sitio marginales se espera poder aumentar la productividad con la selección del mejor material. Debe tenerse presente que los resultados al primer año de plantación son muy preliminares y las familias no necesariamente mantendrán este comportamiento durante todo su período de desarrollo.

Estos resultados permiten suponer que se cuenta con una base genética inicial de 20 familias, suficiente para emprender un desarrollo agresivo de clonación comercial en una primera generación de mejoramiento. Sin embargo, con el fin de propiciar una mayor ganancia genética, se han escogido las siete familias con la mayor

Cuadro 1
ANDEVA del efecto de las zonas de vida en el crecimiento y mortalidad de familias de *Eucalyptus globulus* en Costa Rica.

Fuente de variación de	Grados libertad	h1		Σh		Mortalidad	
		F	Valor probabilístico (P=1 - α)	F	Valor probabilístico (P=1 - α)	F	Valor probabilístico (P=1 - α)
Zona de Vida 2	139.52	<.0001	11.69	0.0002	23.34	<.0001	
Familia	15	1.82	0.0788	1.39	0.2140	1.21	0.3202
Bloque (ZV)	3	55.70	<.0001	52.01	<.0001	24.84	<.0001
Familia*ZV	30	0.80	0.7388	0.94	0.5605	1.08	0.3741
Familia*Bloque(ZV)	42	2.02	0.0002				
Pareja (Familia Bloque)	244	1.06	0.2751				

h1 altura al primer año.

Σ h Sumatoria de todas las alturas de los individuos presentes.

Cuadro 2
ANDEVA del efecto de la altitud en el crecimiento y mortalidad de familias de *Eucalyptus globulus* en Costa Rica.

Fuente de variación de	Grados libertad	h1		Σh		Mortalidad	
		F	Valor probabilístico (P=1 - α)	F	Valor probabilístico (P=1 - α)	F	Valor probabilístico (P=1 - α)
Altitud 1	111.33	<.0001	8.74	0.0098	0.24	0.6336	
Familia	15	1.24	0.3432	1.55	0.2013	0.98	0.5116
Bloque (Altitud)	5	53.22	<.0001	56.14	<.0001	38.98	<.0001
Familia* Altitud	15	1.45	0.1933	0.99	0.4738	1.51	0.1128
Familia*Bloque(Altitud)	75	2.24	0.0004				
Pareja (Familia Bloque)	241	1.08	0.2440				

h1 altura al primer año.

Σ h Sumatoria de todas las alturas de los individuos presentes.

Cuadro 3
Variación en el posicionamiento (escalafón) de familias de *Eucalyptus globulus*
con respecto a su altura al primer año de plantado, a través de zonas de vida y
repeticiones dentro de zonas de vida, en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica.

	Bp P			Bmh MB			Bp MB		
	8	8	6	1	14	7	12	3	9
	4	1	2	9	15	11	4	2	1
	1	3	14	2	13	2	1	1	14
	6	5	8	4	4	8	10	12	2
	3	14	4	3	7	10	2	4	8
	10	7	12	11	16	12	13	16	12
	2	9	3	6	8	4	15	14	3
	14	10	10	12	2	13	11	15	16
	16	2	1	7 5	15	8	9	15	
	5	15	7	15	11	9	7	13	11
	15	11	9	10	10	1	16	10	13
	12	12	5	13	1	5	14	5	4
	13	4	15	5	12	14	6	8	6
	7	6	13	8	6	6	9	11	10
	11	16	16	16	9	16	3	7	7
	9	13	11	14	3	3	5	6	5
h prom (cm)	239,17	160,95	85,56	100,72	65,34	61,29	88,57	85,64	84,45

tasa promedio de crecimiento y sobrevivencia a la fecha, en particular en los sitios pluviales. Estas siete familias implican una intensidad de selección de un tercio de la población de mejoramiento. De estas siete familias se escogerán las mejores seis plántulas en el vivero. Esto implica, entonces, que se contará con 42 clones (siete familias x seis progenies) como base del programa de reforestación comercial. Estas seis plántulas serán elegidas si superan a sus fratias con respecto a la altura total, rectitud de tallo, sanidad, vigor, ausencia de bifurcaciones, entre otros criterios. A los 5 años de edad (Fig. 2, flujo de mejoramiento) se revisarán de nuevo si estas siete familias continúan siendo las mejores en productividad y calidad de fuste de la población de mejoramiento, para hacer los ajustes correspondientes al programa clonal comercial.

Debe considerarse que este diseño de parcela no fue concebido como un

verdadero ensayo de progenie, sino más bien como un tipo de parcela para la comprobación de especies para reforestación. Sin embargo, al establecerse un alto número de repeticiones con éstas parcelas de 144 árboles y 9 individuos por familia/bloque, se obtiene una representatividad total por familia de más de 50 progenies a lo largo de todo el Programa. El diseño permite, asimismo, un mejor control de la variabilidad existente dentro del bloque, causado muchas veces por diferencias en micrositio o pendiente no visibles. Las enormes diferencias encontradas en crecimiento entre bloques dentro de una misma zona de vida (Cuadro 3), se debieron principalmente a la calidad del sitio y a un mejor control de malezas por parte del dueño de la parcela.

Se espera que la información genotípica sea utilizada en la comparación con el crecimiento, rendimiento y calidad de cada una de las familias y sus progenies.

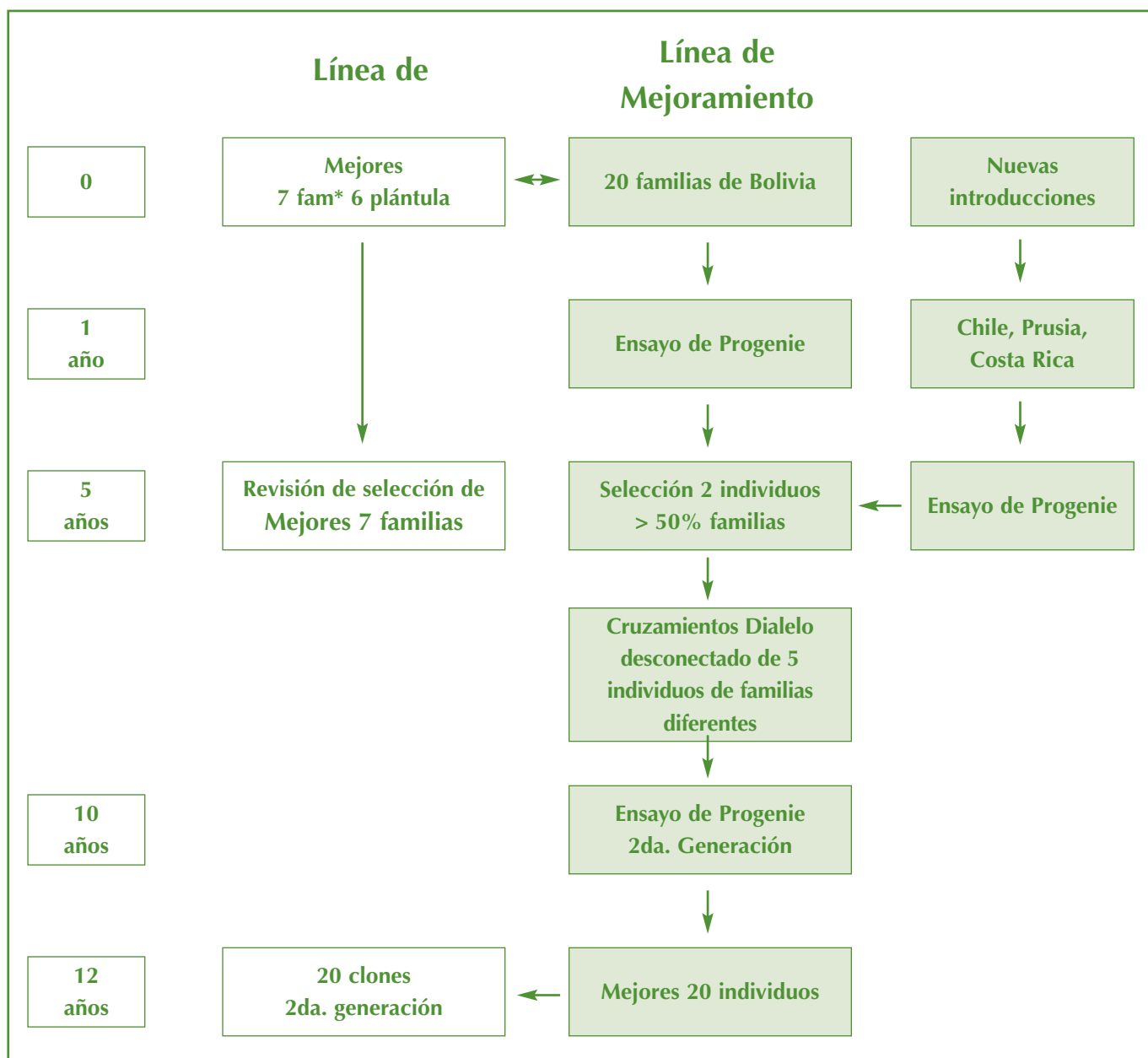


Figura 2
Estrategia de mejoramiento genético y reproducción clonal para *Eucalyptus globulus* en Costa Rica.

Uno de los parámetros a emplear será el del valor k o nivel de heterocigocidad, así como la presencia de alelos raros (Murillo, 1999). A futuro se espera que estos marcadores genéticos se complementen con los criterios de selección y sustenten una posible selección temprana. El manejo del nivel

de consanguinidad en la población de mejoramiento es otro de los aspectos que puede ser mejorado sustancialmente con el uso de la identidad genotípica de cada una de las familias del programa de mejoramiento.

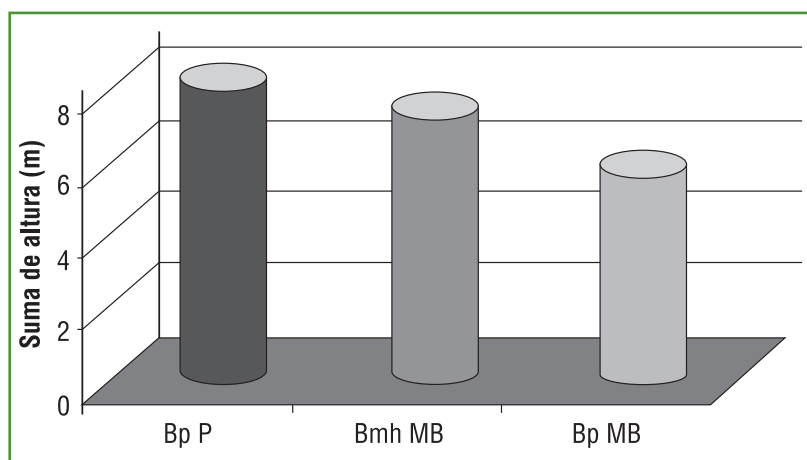


Figura 3

Variación en el crecimiento y sobrevivencia conjuntos (sumatoria de altura de individuos vivos) en familias de *Eucalyptus globulus* al primer año de plantadas, a través de zonas de vida en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica.

Conclusiones

El diseño de campo empleado muestra su eficiencia, tanto en lo estadístico como en su potencial de manejo y conversión futura a huerto semillero. Se requiere introducir (ampliar la base genética) material seleccionado de programas de mejoramiento genético avanzados, con énfasis en familias adaptadas a climas de alta precipitación o pluviales. A los 5 años de edad se debe revisar la escogencia de las mejores siete familias como la base de clonación comercial.

Agradecimientos

Nuestro reconocimiento a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, a FUNDECOR y a la Fundación Internacional para la Ciencia por el financiamiento de esta investigación. Al Dr. Francisco Mesén, del CATIE, por sus valiosas sugerencias a la versión original del manuscrito.

Bibliografía

- Alfaro, C.M. y Barrantes, P. 1995. Estudio de adaptabilidad preliminar de 15 especies de altura en la zona sur de Costa Rica. Práctica de especialidad. B.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 151 p.
- Badilla, Y. 1998. Planificación e inicio de un programa de especies forestales de altura para el área de conservación de la Cordillera Volcánica Central. Informe de práctica de especialidad. B.S. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 45 p.
- Camacho, P. 1981. Informe general del proyecto: Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica y Ministerio de Agricultura y Ganadería. Cartago, Costa Rica. 287 p.
- Cheliak, W.M. y Pittel, J.A. 1984. Techniques for Starch Gel Electrophoresis of Enzymes from Forest Tree Species. Information Report P1-X-42. Petawawa National Forestry Institute. Canadian Forestry Service. 49 p.
- Martínez H., Hugo. 1981. Evaluación de ensayos de especies forestales en Costa Rica. CATIE. Programa de Recursos Naturales Renovables. Turrialba, Costa Rica. 200 p.
- Murillo, O. 1999. Relación entre el grado de heterocigosidad y características de las semillas en *Alnus acuminata*. En: Salazar, R. (comp.) II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Santo Domingo, República Dominicana. Memorias. 18-22 octubre. Turrialba, Costa Rica: pp. 105-108.
- Murillo, O. (en prensa). Determination of maternal genotypes in a hardwood tree species by means of its progeny isozyme polymorphisms. *Biología Tropical*.
- Murillo, O. & Hattemer, H.H. 1997. Inheritance of isozyme variants of *Alnus acuminata* ssp. *Arguta* (Schlectendal) Furlow. *Silvae Genetica* 46 (1): 51-55
- Murillo, O.; Obando, G.; Badilla, Y. y Sánchez, S. 2000. Perspectivas de la reforestación en las zonas altas de Costa Rica. In: (Romero y Reyes, eds.). IV Congreso Forestal Centroamericano. Montelimar, Nicaragua, 15-17 noviembre 2000.