

EVALUACIÓN DE ENSAYOS DE PROGENIES DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE *Eucalyptus globulus* Labill. PARA RESISTENCIA A SEQUÍA

Rojas, Patricio³; Ipinza, Roberto⁴;
Molina, María Paz⁵ y Gutiérrez, Braulio⁶

RESUMEN

Debido a las excepcionales propiedades de su fibra, *Eucalyptus globulus* Labill., "Tasmanian Blue Gum", es la principal especie para la producción de pulpa y papel en el mundo. En Chile existen más de 500 mil hectáreas plantadas con esta especie, lo que representa más de un quinto del total de plantaciones en el país. La especie fue introducida a Chile a fines del siglo XIX para ser usada como postes en la minería del carbón en Lota (región del Biobío), posteriormente como consecuencia de exitosos ciclos de selección y propagación se ha dado origen a una raza local que ha experimentado una adecuada adaptación a distintas condiciones de clima en el país.

En los años 90 varias organizaciones chilenas dieron inicio a programas para mejorar la resistencia al frío, el crecimiento y la calidad de la fibra de esta especie, pero no consideraron la resistencia a la sequía como un carácter de valor comercial. Sin embargo, resultados de investigaciones del Instituto Forestal (INFOR) muestran que el cambio climático disminuirá la productividad de las plantaciones de eucalipto en alrededor de 6 a 8% en la zona centro centro-sur de Chile, debido a la reducción de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas.

En 2006 INFOR inició un proyecto de investigación para las zonas semiáridas de Chile, orientado a seleccionar, recombinar y propagar genotipos de *E. globulus* resistentes a la sequía. Para este fin se consideraron tres poblaciones: (i) Genotipos selectos por volumen y representados en un huerto semillero clonal, correspondientes al programa de mejora genética de INFOR; (ii) Familias de polinización abierta de 107 árboles plus seleccionados en condiciones de aridez; y (iii) Familias de polinización controlada generadas por el cruzamiento de madres de la población (i) con polen de la población (ii). Este último material fue concebido para combinar la superioridad genética de los clones del huerto semillero con la resistencia a la sequía de la raza local chilena de *E. globulus*.

En el presente documento se entregan y discuten los resultados de dos ensayos de progenies de polinización abierta y uno de polinización controlada, compuestos por material de las poblaciones mencionadas, que fueron establecidos entre los años 2009 y 2010 en sitios representativos de condiciones de aridez en la región del Biobío. Los parámetros genéticos para tolerancia a sequía de *E. globulus* se obtuvieron a partir de la supervivencia y crecimiento de 24 familias de polinización controlada y 61 familias de polinización abierta de 5 a 6 años de edad, considerando como controles a lotes de semilla comercial de *E. globulus* y a otras especies de eucaliptos reconocidas por su tolerancia a la sequía, particularmente *E. camaldulensis* y *E. cladocalyx*.

Se discute la posibilidad de aplicación de esta estrategia para mejorar la tolerancia a la sequía de *E. globulus* en las zonas áridas de la región del Biobío y se incluye la selección de las mejores familias de polinización abierta y controlada para desarrollo comercial.

Palabras clave: Mejoramiento genético, *Eucalyptus globulus*, Tolerancia a sequía

³ MSc. Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Metropolitana. parojas@infor.cl

⁴ Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal, Sede Los Ríos. roberto.ipinza@infor.cl

⁵ MSc. Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Biobío. mmolina@infor.cl

⁶ Ingeniero Forestal. Instituto Forestal. Sede Biobío. bgutierr@infor.cl

SUMMARY

Eucalyptus globulus Labill "Tasmanian Blue Gum" is the main species for pulp and paper production in the world due to its exceptional fiber properties. There are over than 500 thousand 13 hectares planted with the species in Chile and that represents more than 23% of the total planted forests in the country. The species was introduced by the end of XIX century for coal mining poles in Colcura (Bío Bío Region) and due to successive selection and propagation cycles a "Chilean Land Race" was formed which has been well adapted to dry climatic conditions in the country.

By 1990 many organizations in Chile started breeding programs to improve frost hardiness, growth, yield and fiber quality of the species, but drought hardiness was not included as a commercial trait. Last INFOR survey results shows that the climatic change will decrease the plantations productivity due to lower precipitation and higher temperatures in the central and south region of Chile up to 6-8%.

An INFOR research project started on 2006 was oriented to select, recombine and propagate *E. globulus* drought hardiness genotypes in the Chilean semiarid region. Three populations were included for this purpose: (A) Selected genotypes ranked by volume in a clonal seed orchard that correspond to the INFOR tree breeding program, (B) Open pollinated families of 107 plus trees selected on extreme dry conditions, and (C) Control pollinated families generated by intraspecific crosses of population (A x B). This material combined the clonal orchard genotypes genetic superiority and the *E. globulus* Chilean land race drought hardiness.

This paper shows the results of two open-pollinated trials and one controlled pollination trial from these three populations planted in representative sites of dry land areas of the Bío-Bío Region on 2009-2010. Genetic parameters for *E. globulus* drought tolerance were obtained through the survival and growth of 24 control pollinated families and 61 open pollinated families at 5-6-year-old using as controls commercial seed sources of *E. globulus* and drought tolerant species like *E. camaldulensis* and *E. cladocalyx*.

Conclusion are related to the applicability of this breeding strategies for improving *E. globulus* drought tolerance in dry zones areas of the Bío-Bío Region including selection of best CP and OP progenies for commercial deployment.

Keywords: Breeding, *Eucalyptus globulus*, drought tolerance

INTRODUCCIÓN

Debido a las excepcionales propiedades de su fibra, *Eucalyptus globulus* Labill (Tasmanian Blue Gum) es la principal especie para la producción de pulpa y papel en el mundo. En Chile existen 563.813 hectáreas plantadas con esta especie, lo que representa un 23% del total de plantaciones exóticas en el país. La especie fue introducida a Chile a fines del siglo XIX para ser usada como postes en la minería del carbón en Colcura (región del Biobío), posteriormente como consecuencia de exitosos ciclos de selección y propagación se ha dado origen a una raza local que ha experimentado una adecuada adaptación a distintas condiciones de clima en el país.

En los años 90 varias organizaciones chilenas dieron inicio a programas para mejorar la resistencia al frío, el crecimiento y la calidad de la fibra de esta especie, pero no consideraron la resistencia a la sequía como un carácter de valor comercial. Sin embargo, resultados de investigaciones de INFOR muestran que el cambio climático disminuirá la productividad de las plantaciones de eucalipto en alrededor de 6 a 8% en la zona centro centro-sur de Chile, debido a la reducción de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas.

E. globulus crece en forma natural en el sudeste de Australia, donde conforma un complejo de especies junto con *E. bicostata*, *E. maideni* y *E. pseudoglobulus*, las cuales difieren básicamente en el número y tamaño de yemas florales por umbela (Dutkowsky y Potts, 1999). Estudios realizados sobre su resistencia a la sequía muestran que existe una significativa variación genética, tanto en su distribución natural como en los resultados de ensayos de progenies plantados en Australia (Dutkowsky, 1995) y España (Toro *et al.*, 1998). La especie se encuentra genéticamente estratificada en 13 razas y 20 sub-razas, para las cuales estudios de marcadores moleculares han demostrado que tres líneas genéticas conforman la población principal: (a) Victoria; (b) King Island y Oeste de Tasmania; y (c) Este de Tasmania e Islas Furneaux (Dutkowsky *et al.*, 1997). Potts y Dutkowsky (2012) concluyen que las procedencias de *E. globulus* más vulnerables a sequía son las de King Island y las de la costa oeste de Tasmania, mientras que las más tolerantes son aquellas de Jeerelang y el norte de Tasmania. Estos últimos orígenes han resultado ser una adecuada fuente de semillas de *E. bicostata* para condiciones de alta restricción hídrica en Chile.

Una de las innovaciones tecnológicas para la polinización controlada de *E. globulus* fue la aplicación de la técnica de polinización en un paso, o en una visita, desarrollada paralelamente en Chile (Espejo *et al.*, 1995) y Australia (Williams *et al.*, 1999), a partir de investigaciones previas efectuadas en *E. gunnii* por Cauvin (1988). El comparativamente bajo costo de esta técnica permitió obtener semilla de polinización controlada a escala operacional en huertos semilleros clonales (Rojas y Griffin, 1997; Rojas *et al.*, 2001)

El proyecto “*Generación y producción de plantas de Eucalyptus globulus tolerantes a la sequía*”, financiado por INNOVA Chile de CORFO y ejecutado conjuntamente por el Instituto Forestal (INFOR) y el Centro Regional de Investigación La Platina del Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), tuvo por objetivo generar disponibilidad para los propietarios y empresas forestales de las zonas semiáridas, de semillas mejoradas y clones elite de *E. globulus* mejor adaptados a la sequía y con mejor rendimiento que aquellos usados comúnmente, así como transformar algunos de esos clones incorporándole genes específicos capaces de expresar una tolerancia aún mayor al estrés hídrico. Al respecto, en este documento se resumen los resultados de una de las estrategias empleadas en el proyecto, particularmente la experiencia con el uso de polinización controlada de madres de un huerto semillero clonal con polen de árboles plus seleccionados por su resistencia a sequía, con el objeto de generar semilla de híbridos intraespecíficos que combinen la superioridad genética de los árboles del huerto con la tolerancia a la sequía de los árboles seleccionados en la raza local.

OBJETIVOS

Generar híbridos intraespecíficos que combinen la superioridad genética en volumen de árboles de un huerto semillero clonal con la resistencia a la sequía de árboles selectos en condiciones de estrés hídrico.

Estimar los parámetros genéticos de individuos de *E. globulus* de 24 familias de polinización controlada y 61 de polinización abierta, de entre 5 y 6 años de edad, y de controles de semilla comercial de *E. globulus* y especies tolerantes a sequía como *E. camaldulensis* y *E. cladocalyx*.

Desarrollar estrategias de mejora para incrementar la resistencia a sequía de *E. globulus* en el secano de la región del Biobío.

MATERIAL Y METODO

Selección de Árboles Plus de *E. globulus* Tolerantes a Sequía: Población de Raza Local

Se seleccionó un conjunto de 107 árboles plus que exhibían un desempeño sobresaliente de volumen, forma y sanidad en 12.000 hectáreas de plantaciones establecidas en sitios con altas restricciones hídricas entre las región de Coquimbo y el secano de la región del Biobío (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE ÁRBOLES PLUS EN PLANTACIONES DE RAZA LOCAL

	Carácter	Descripción
	Edad del rodal	Rodales coetáneos de densidad uniforme mayores a 5 años.
	Dominancia	Árboles dominantes (excepcionalmente codominantes) sin considerar a los árboles de borde.
	DAP	Superior al promedio del rodal
	Fuste	Recto, cilíndrico, sin crecimiento en espiral, ni inclinación.
	Copa	Balanceada y pequeña.
	Ramas	Cortas, de poco diámetro y con ángulo de inserción en el fuste cercano a 90°.
Sanidad	Sano. Sin evidencia de enfermedades o plagas, especialmente sin indicios de <i>Phoracantha semipunctata</i> .	

Colecta de Yemas Florales y Procesamiento de Polen

Desde los árboles selectos se extrajeron secciones de ramas de aproximadamente 40 cm de longitud y que portaban yemas en estado de antesis, es decir en la fase de desarrollo floral inmediatamente anterior al desprendimiento del opérculo.

Las ramas envueltas en papel húmedo se depositaron en cajas térmicas con hielo y se

despacharon al laboratorio de INFOR en Concepción, donde fueron depositadas en jarros con agua, etiquetados con el código de cada clon en espera de la apertura de las flores.

Una vez iniciada la apertura de las flores, se les extrajo sus anillos estaminales con un bisturí de punta curva. El material extraído fue secado por 24 a 48 horas en recipientes desecadores con silicagel a temperatura de 25 a 30°C. Posteriormente, los estambres ya secos fueron agitados sobre láminas de papel de aluminio para desprender el polen. El polen obtenido fue depositado en tubos eppendorf, etiquetados con el código del clon y fecha de colecta, los tubos fueron dispuestos dentro de un frasco con silicagel, el que fue cerrado y almacenado en freezer hasta el momento de su análisis y utilización en polinización controlada.

Las pruebas de germinación del polen se efectuaron en un medio líquido consistente en una solución al 30% de sacarosa en agua destilada, complementada con 150 mg/L de ácido bórico y esterilizada en autoclave por 10 minutos a 70 psi. Este medio de germinación se almacenó congelado hasta el momento de utilizarlo, ocasión en que se descongeló en un horno de microondas. Para analizar la viabilidad del polen se aplicó una pequeña cantidad del mismo en un frasco snap con 2 ml del medio de cultivo, etiquetado con el código del clon, y se incubó por 36 horas a 25°C. Posteriormente se traspasó una gota del medio con el polen a un portaobjeto y se observó en microscopio óptico con aumento de 100X para determinar el porcentaje de granos de polen germinados. Esto último se determinó por conteo de aquellos granos que exhibían la emisión de tubos polínicos con un largo mayor al diámetro del polen (Figura N° 1).



Figura N° 1
COLECTA DE YEMAS FLORALES Y PROCESAMIENTO DE POLEN

A nivel de clones la viabilidad *in vitro* del polen fluctuó entre 0 y 23%, con un promedio ponderado por clon de 7,3%. Al respecto, se considera que el polen de las especies de *Eucalyptus* es apropiado para realizar cruzamientos cuando su viabilidad es superior al 5%.

Por lo mismo, aun cuando hubo clones cuyo polen germinó en menos del 5%, el promedio general de todo el material colectado (7,3%) excede el valor mínimo aceptado, de modo

que para efectos de realizar la polinización controlada es posible usar la mezcla total del polen de todos los clones, o alternativamente usar sólo aquel de mayor germinación, tal como se hizo en las actividades del proyecto que se describen más adelante.

Por otra parte, considerando que para polinizar cada flor se requiere aproximadamente 0,0007g de polen, se contó con un stock suficiente para polinizar aproximadamente 10.000 flores, lo que resultó más que suficiente para las dos temporadas de cruzamientos contempladas en el proyecto.

Generación de Híbridos Intraespecíficos

Las labores de polinización controlada se efectuaron en un huerto semillero clonal perteneciente al vivero Agromen, localizado en la localidad de Confluencia (Chillán, región del Biobío).

El huerto cuenta con una superficie de 1,5 ha, donde se distribuyen rametos de 30 clones del programa de mejora genética de INFOR, plantados en bloques al azar, con un espaciamiento de 4 x 4 metros.

Como madres se seleccionaron clones del huerto de acuerdo a su ranking genético, disponibilidad de flores y facilidad de acceso a las mismas con escalas de 3 metros. Los cruzamientos se realizaron utilizando la técnica de polinización en una visita (Figura N° 2), la cual se basa en los siguientes principios:

No requiere efectuarse en el momento en que el estigma está maduro y receptivo al grano de polen.

Asegura el éxito del trabajo de emasculación y polinización, y consecuentemente la fertilización de los óvulos.

La polinización y la aislación de las flores polinizadas se realizan en una sola operación.

Se reduce el costo de polinización y se incrementa el número de semillas por flor polinizada.



Figura N° 2
CRUZAMIENTOS DE *E. globulus* USANDO TÉCNICA DE POLINIZACIÓN EN UNA VISITA

Cada flor polinizada fue etiquetada con un código que hace referencia al número de la cruce y la identificación de los árboles padre y madre involucrados en la misma. Posteriormente, una vez que los frutos originados en las flores polinizadas alcanzaron su madurez, estos fueron colectados en bolsas de papel identificadas con el código del cruzamiento y transportadas a laboratorio.

Las cápsulas fueron secadas en horno a 25°C y dispuestas en discos petri para la extracción y conteo de sus semillas. Las semillas fueron procesadas manualmente, separándolas de la paráfisis, en base a su color más oscuro, y luego almacenadas en cámara de frío a 4°C hasta el momento de su siembra en vivero.

Producción en Vivero de Familias de Polinización Abierta y Controlada

La producción de plantas, tanto de las familias de polinización abierta como controlada, fue realizada en el vivero Agromen (Figura N° 3), planificando una producción esperada de 200 plantas por familia, para efectos de disponer de 50 unidades de cada familia en cada ensayo y contar con un excedente para las filas de aislación o borde de los mismos.



Figura N° 3
PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE *E. globulus* EN VIVERO

La producción de plantas se efectuó en bandejas de poliestireno expandido con cavidades individuales de 130 cc, utilizando como sustrato corteza compostada de pino.

El material genético para los ensayos de polinización abierta consideró un total de 72 progenies correspondientes a:

56 Progenies de árboles plus seleccionados en condiciones de aridez (selecciones raza local)

13 Progenies australianas de árboles de alta productividad del programa de mejora de INFOR, representados en un huerto semillero clonal (madres australianas en HSC)

3 Lotes de plantas de comparación: Uno correspondiente a plantas de semilla comercial de *E. globulus*, y otros dos correspondientes a plantas de *E. camaldulensis* y *E. cladocalyx*, especies reconocidas por su adaptación a condiciones de aridez (controles).

El material genético para los ensayos de polinización controlada consideró a las 37 progenies que se detallan a continuación:

30 Progenies híbridas intraespecíficas que combinan la superioridad genética de árboles de un huerto semillero clonal con la tolerancia a sequía de árboles de raza local seleccionados en condiciones de aridez en plantaciones comerciales.

7 Progenies de polinización abierta de las mismas madres representadas en el huerto clonal.

Ensayos de Progenies

Los ensayos fueron plantados en áreas representativas del interior de la región del Biobío, donde la especie *E. globulus* enfrenta restricciones hídricas que restringen su tasa de crecimiento.

Los ensayos de polinización abierta se plantaron en La Posada y San Vicente, mientras que el ensayo de polinización controlada fue establecido en El Mirador.

Los tres sitios corresponden al valle interior, entre el Océano Pacífico y la Cordillera de los Andes, en la zona denominada como secano interior donde la productividad de *E. globulus* es considerablemente más baja que en la costa, llegando solo a 10-15 m³/ha/año.

En la Figura N° 4 se presenta la ubicación de los ensayos e información relativa los montos anuales de precipitación registrados en la zona de emplazamiento de los mismos.

Al comparar los requerimientos climáticos de *E. globulus* mencionados por Booth y Pryor (1991) con los registros de precipitación de la Figura N° 4, se observa que el monto de precipitación anual es coincidente con el requerimiento de la especie.

No obstante, el número de meses secos, la temperatura media anual y la temperatura del mes más cálido, son mayores al rango de requerimientos de *E. globulus*.

Los ensayos fueron plantados en septiembre de 2009 y septiembre de 2010, considerando silvicultura intensiva de establecimiento, la que incluyó preparación de suelo con subsolador, control químico pre y post emergencia de malezas, además de fertilización individual de las plantas.

Los espaciamientos de plantación utilizados fueron de 3 x 2,5 m en La Posada y El Mirador, y de 3 x 3 m en San Vicente. En el Cuadro N° 2 se resumen los antecedentes de los tres ensayos considerados.

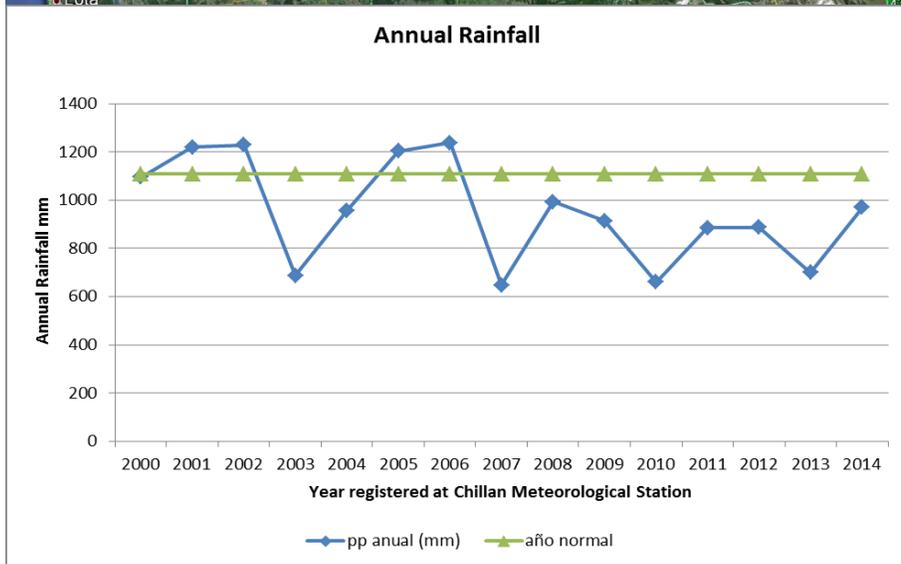
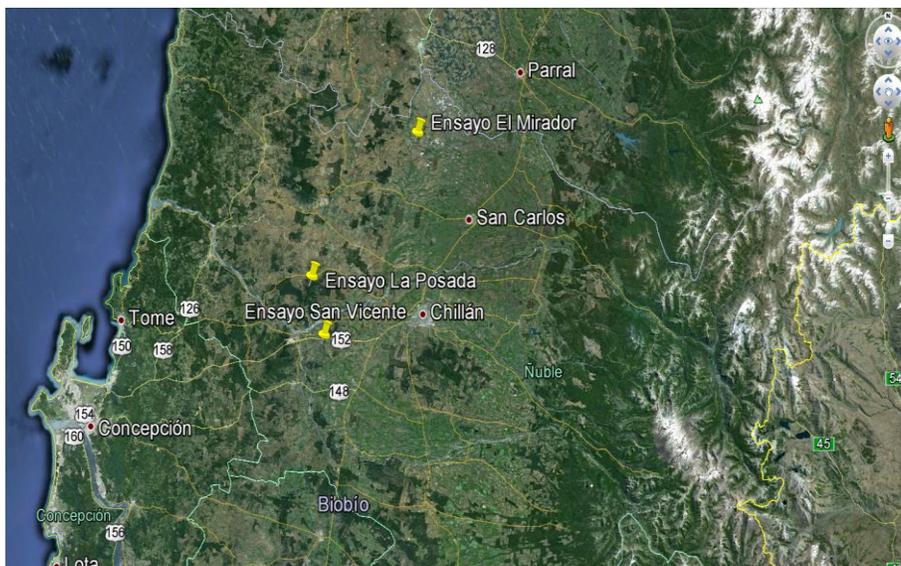


Figura N° 4
UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS Y ANTECEDENTES DE PRECIPITACIÓN ANUAL

Cuadro N° 2
ANTECEDENTES DE LOS ENSAYOS DE PROGENIES

Característica	Ensayos		
	La Posada	San Vicente	El Mirador
Plantación	Septiembre, 2010	Septiembre, 2009	Septiembre, 2010
Espaciamiento	3,0 x 2,5 m	3,0 x 3,0 m	3,0 x 2,5 m
Superficie	0,9 ha	1,36 ha	0,65 ha
Diseño	6 bloques completos al azar Parcelas lineales de 4 árboles por progenie 50 progenies por bloque.	6 bloques completos al azar Parcelas lineales de 4 árboles por progenie 63 progenies por bloque.	6 bloques completos al azar Parcelas lineales de 4 árboles por progenie 36 progenies por bloque.
Aislación	Una hilera de <i>E. camaldulensis</i> y plantación comercial de <i>E. globulus</i> .	Plantación comercial de <i>E. globulus</i>	Plantación comercial de <i>E. globulus</i>
Preparación suelo	Casillas de 30 x 30 x 30 cm confeccionadas con pala plantadora.	Subsolado y mullido	Subsolado y mullido
Silvicultura de establecimiento	Control químico pre y post emergente de malezas y fertilización.		
Suelo*	Suelos residuales, formados a partir de rocas graníticas, bien evolucionados, de texturas arcillosas en todo el perfil. Descansa sobre un sustrato constituido por roca granítica muy meteorizada y rica en cuarzo y feldespatos	Suelo moderadamente profundo a profundo, bien evolucionado, derivado de sedimentos aluviales mezclados con un aporte de cenizas variables. Descansa sobre sustrato de diversos orígenes	Suelo derivado de rocas metamórficas y graníticas, presenta textura franco-arcillosa y un pH del orden de 6,0. Niveles bajos de nutrientes y materia orgánica y baja capacidad de retención de agua.
Clima	N° de meses secos: 4 T° máxima: 38°C T° media anual: 13°C T° mínima absoluta: -8°C	N° de meses secos: 4 T° máxima: 38°C T° media anual: 13°C T° mínima absoluta: -8°C	N° de meses secos: 4 T° máxima: 34°C T° media anual: 15°C T° mínima absoluta: -6°C

(*Fuente: Santis, 2005)

Medición y Evaluación Genética de los Ensayos de Progenies

En septiembre y octubre de 2015 se realizó la medición de los ensayos, registrándose los valores de altura y diámetro a la altura del pecho de cada uno de sus árboles. Para este efecto se utilizó vertex, huincha diamétrica y formularios de terreno en los cuales estaban registrados los valores de la medición anterior, esto con el objeto de validar y evitar errores en la captura de los datos.

Adicionalmente, durante la medición se tomó información de algunas variables subjetivas, tales como rectitud de fuste, hábito de crecimiento y sanidad, particularmente ataque de *Phoracantha semipunctata* y *Gonipterus scutellatus*.

Para el análisis genético de los ensayos de progenie se utilizó la última medición de altura y diámetro en cada sitio. Debido a que la diferencia en edad entre los sitios es pequeña, se optó por no efectuar correcciones por cantidad de mediciones del tipo de Wei y Borralho (1996).

Los registros de la base de datos fueron ordenados por sitio y contenían información para ambas variables. Fueron considerados como *missing value* los árboles muertos y de relleno, con daños o con más de un fuste. Se utilizó un modelo de árbol individual o *animal model* (Borralho, 1995):

$$y = Xb + Z_u u + e$$

Donde:

y es el vector de las observaciones para altura y diámetro en todos los sitios,

b es el vector de parámetros para los efectos fijos (sitio y bloque),

u es el vector de valores genéticos para las dos variables dentro de cada sitio,

e es el vector de residuos aleatorios.

X, **Z_u** y **e** representan respectivamente la matrices de diseño para los efectos fijos y efectos aleatorio o valores genéticos.

El análisis de datos fue desarrollado en tres etapas. Primero un análisis separado o univariado para cada variable en cada sitio, es decir para altura (m) y diámetro, incluyendo bloque, sitio, valor genético del árbol y error para obtener valores iniciales para los componentes de varianza. La segunda etapa involucró un análisis bivariado altura (m) y DAP (cm) y finalmente un análisis multivariado y multisitio (el modelo completo) para obtener los componentes de varianza y la mejor predicción lineal insesgada (BLUP=Best Linear Unbiased Predictor) de los valores genéticos usando las ecuaciones de modelos lineales mixtos de Henderson (1984).

Los componentes de varianza fueron estimados usando Máxima Verosimilitud Restrignida (REML, Patterson y Thompson 1971). Para esto se utilizó el programa ASREML (Gilmour *et al.*, 1995, Gilmour *et al.*, 1997) que mediante el uso de un algoritmo iterativo de información promedio y técnicas de *sparse matrices* reduce en forma considerable los tiempos de análisis y requerimientos computacionales. Además de los componentes de varianza, se estimaron las heredabilidades (h^2) y correlaciones genéticas (r_g) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$$

$$r_g = \frac{\sigma_{a_1 a_2}}{\sigma_{a_1} \sigma_{a_2}}$$

Los errores estándares de los parámetros genéticos fueron obtenidos directamente con ASREML, basado en los términos de la inversa de la matriz de coeficientes de las ecuaciones de modelos lineales (Gilmour *et al.*, 1997).

Los valores genéticos de Altura y DAP de cada árbol individual se utilizaron para confeccionar un índice correspondiente al promedio de ambas variables ponderadas por sus respectivas heredabilidades.

El ordenamiento de mayor a menor de este índice dio origen a los rankings genéticos, los cuales se elaboraron para cada ensayo y se diferenciaron a nivel de árboles individuales, de familias y de grupos. En este último caso los grupos estuvieron conformados por el origen del material (madres australianas en huerto semillero clonal, selecciones de raza local en seco y controles).

En el caso del ensayo de polinización controlada, además del ranking familiar por cruza se agregan dos rankings adicionales, los que corresponden a los ordenamientos jerarquizados por madre y por padre. La utilidad de los rankings mencionados es apoyar al mejorador en el proceso de la selección hacia adelante, para la siguiente generación del programa de mejora genética.

RESULTADOS

Parámetros Genéticos y Correlaciones

El Cuadro N° 3 muestra la heredabilidad en sentido estricto, y su respectivo error estándar, estimada para las variables altura y DAP en cada uno de los tres ensayos evaluados.

La estimación de heredabilidad corresponde a la obtenida con un coeficiente de parentesco $r = 0,25$ (medios hermanos), usado solo para efectos de comparación.

Cuadro N° 3
HEREDABILIDADES (h^2) Y SUS RESPECTIVOS ERRORES ESTÁNDAR (EE)
PARA ALTURA Y DAP EN CADA ENSAYO

Ensayo	$h^2 \pm EE$	
	Altura	DAP
La Posada	0.4323 \pm 0.0247	0.3346 \pm 0.0291
San Vicente	0.5503 \pm 0.0173	0.4919 \pm 0.0196
El Mirador	0.3624 \pm 0.0424	0.2542 \pm 0.0496

Las correlaciones genética aditiva y fenotípica entre las variables Altura y DAP de cada sitio, con sus respectivos errores estándar, se presentan en el Cuadro N° 4. Estos valores fluctúan entre -1 y 1, donde cero indica que no existe correlación.

Cuadro N° 4
CORRELACIONES ENTRE ALTURA Y DAP EN CADA ENSAYO

Ensayo y variables	Correlaciones	
	Genética \pm EE	Fenotípica \pm EE
La Posada, Altura-DAP	0.9261 \pm 0.0237	0.8017 \pm 0.0110
San Vicente, Altura-DAP	0.8767 \pm 0.0178	0.7720 \pm 0.0110
El Mirador, Altura-DAP	0.9394 \pm 0.0707	0.6837 \pm 0.0250

Las correlaciones genéticas para una misma variable entre pares de sitios (ensayos) indican el grado de homogeneidad en el comportamiento de los rankings individuales entre esos sitios.

Así, una alta correlación es indicativa de ausencia de interacción genotipo ambiente, señalando que los rankings son estables o similares en ambos sitios, es decir que los mejores árboles en un ensayo, son también los mejores en el otro.

Por el contrario un bajo nivel de correlación estaría indicando que los rankings de cada ensayo son diferentes y que existe efecto de la interacción genotipo-ambiente.

Al respecto, en el Cuadro N° 5 se indican las correlaciones entre pares de sitios para la variable altura, con su respectivo error estándar.

Lo mismo ocurre en el Cuadro N° 6 para la variable DAP.

Cuadro N° 5
CORRELACIÓN GENÉTICA ADITIVA Y ERROR ESTÁNDAR PARA ALTURA ENTRE ENSAYOS

	La Posada	San Vicente	El Mirador
La Posada	-		
San Vicente	0.0044± 0.0003	-	
El Mirador	0.0057± 0.0006	0.0041 ± 0.0004	-

Cuadro N° 6
CORRELACIÓN GENÉTICA ADITIVA Y ERROR ESTÁNDAR PARA DAP ENTRE ENSAYOS

	La Posada	San Vicente	El Mirador
La Posada	-		
San Vicente	0.0030 ± 0.0002	-	
El Mirador	0.0045 ± 0.0007	0.0032 ± 0.0004	-

Análisis Genético Ensayo La Posada (polinización abierta)

El ranking de árboles individuales del ensayo La Posada (Apéndice N° 1) muestra que en sus primeras posiciones existe un claro predominio de los descendientes (hijos) de los árboles de raza local seleccionados en condiciones de secano, en desmedro de los individuos originados a partir de las madres australianas representadas en el huerto semillero clonal. Estos últimos presentan una participación muy marginal en la cabecera del ranking, recién en la posición 25 figura un hijo de la madre australiana N° 33 (Jeerelang, Norte de Victoria).

El individuo de mejor desempeño es hijo de una selección de raza local, particularmente de la N° 57 efectuada en Cauquenes, la cual se destaca por presentar a varios de sus hijos en la cabecera del ranking.

El ranking a nivel familiar (Apéndice N° 2) confirma el buen desempeño de la familia N° 57 y de otras selecciones de raza local. En general las familias derivadas de madres australianas, en este ensayo, presentan un desempeño inferior al de las selecciones de raza local. Por su parte, los grupos testigos formados por material de *E. camaldulensis* y *E. cladocalyx* presentan rendimientos claramente inferiores a *E. globulus*.

Agrupando el material ensayado a nivel de grandes grupos (Cuadro N° 7) se hace evidente el mejor desempeño de las selecciones de raza local en relación a las madres australianas del huerto semillero.

Cuadro N° 7
RANKING POR GRUPO DE MATERIAL GENÉTICO EN ENSAYO DE POLINIZACIÓN ABIERTA LA POSADA

Grupo de Material Genético	Índice	Ranking
Progenies de polinización abierta de selecciones de raza local	0,083	1
Progenies de polinización abierta de madres australianas en huerto semillero clonal	-0,070	2
Control <i>E. cladocalyx</i>	-1,133	3
Control <i>E. camaldulensis</i>	-2,008	4

En promedio solo el material de secano exhibe valores de mejora promedios superiores a cero, mientras que los tres grupos restantes presentan valores negativos.

Análisis Genético Ensayo San Vicente (polinización abierta)

El ranking de árboles individuales (Apéndice N° 3) y el familiar (Apéndice N° 4) denotan un comportamiento distinto al observado en el ensayo La Posada.

En San Vicente se observa una mayor participación de progenies de madres australianas en la parte alta del ranking. De hecho, la familia de mejor desempeño en este ensayo corresponde a la madre australiana N° 7.

Lo mismo ocurre en el ranking de árboles individuales, donde el mejor individuo proviene de una madre de ese origen, y donde se observa una alta participación de este material en la cabecera del ranking.

La situación descrita se confirma y hace más evidente en el ordenamiento a nivel de grupos (Cuadro N° 8), donde se indica que el mejor desempeño corresponde al material australiano, seguido de la raza local, mientras que los controles *E. camaldulensis* y *E. cladocalyx* siguen siendo los grupo de menor desempeño

Cuadro N° 8
RANKING POR GRUPO DE MATERIAL GENÉTICO EN ENSAYO
DE POLINIZACIÓN ABIERTA SAN VICENTE

Grupo de Material Genético	Índice	Ranking
Progenies de polinización abierta de madres australianas en huerto semillero clonal	0,636	1
Progenies de polinización abierta de selecciones de raza local	-0,046	2
Control <i>E. cladocalyx</i>	-2,533	3
Control <i>E. camaldulensis</i>	-2,590	4

Análisis Genético Ensayo El Mirador (polinización controlada)

En este ensayo resulta destacable el comportamiento superior exhibido por los híbridos intraespecíficos derivados de cruzamientos controlados efectuados con polen de árboles padre de raza local, sobre madres australianas del huerto semillero.

El lote control de *E. globulus* (semilla comercial) tiene un desempeño intermedio entre todo el material ensayado, resultando en promedio mejor que el material de polinización abierta producido en el huerto.

Al igual que en los ensayos anteriores, el control *E. camaldulensis* muestra el desempeño más bajo, mientras que el *E. cladocalyx* no fue capaz de sobrevivir en las condiciones de este ensayo (Cuadro N° 9).

Los primeros 6 árboles del ranking individual (Apéndices N° 5) son hijos de la cruce de la madre australiana N° 40 con el padre de raza local N° 72. Consistentemente, esta misma cruce es la que presenta la mejor aptitud combinatoria específica, situación que se confirma en el ranking en función de las cruces (Apéndice N° 6).

Adicionalmente, estos mismos árboles madre y padre exhiben también la mejor aptitud combinatoria general, situación que se corrobora en los rankings ordenados por madre (Apéndice

N° 7) y padre (Apéndice N° 8).

Cuadro N° 9
RANKING POR GRUPO DE MATERIAL GENÉTICO EN ENSAYO
DE POLINIZACIÓN CONTROLADA EL MIRADOR

Grupo de Material Genético	Índice	Ranking
Progenies de polinización controlada de madres australianas con polen de selecciones de raza local	0,287	1
Control <i>E. globulus</i>	0,287	2
Progenies de polinización abierta de madres australianas en huerto semillero clonal	-0,076	3
Control <i>E. camaldulensis</i>	-1,470	4

DISCUSION Y CONCLUSIONES

De acuerdo con Potts and Dutkowsky (2012) existen diferencias significativas en la susceptibilidad al daño por sequía en las subrazas de *E. globulus* resultando en una amplia variación evidente a escala regional o de clones. La mayor tolerancia a sequía se asocia con la resistencia al cerambícido *Phoracantha semipunctata*. Los autores concluyen que los orígenes de *E. globulus* más susceptibles a la sequía corresponden a King Island y la costa oeste de Tasmania, mientras que los más tolerantes son los de Jeerelang y el norte de Tasmania.

La supervivencia inicial de las pruebas de progenie de polinización abierta fue de 92% gracias a la intensiva silvicultura de establecimiento. El ensayo de polinización controlada evidenció una supervivencia menor, 63% a los 20 meses, debido a daño por animales, por lo mismo el bloque que concentró este problema fue excluido del análisis genético.

Los altos valores de la heredabilidad estimada para altura y DAP ponen de manifiesto la excelente calidad de los ensayos y generan expectativas de aumentar la ganancia genética mediante selección a nivel individual y de familias para el material de origen australiano y para las selecciones de raza local. Estos resultados han sido obtenidos tras un largo periodo de sequía que se ha extendido por 14 años en la zona donde se ubican los ensayos, de modo que es posible albergar grandes expectativas de ganancia genética en años con más precipitación.

Las correlaciones genéticas entre sitios se muestran cercanas a cero, indicando una alta interacción del material genético con las condiciones de sitio de los ensayos. Esta obedece principalmente a las diferencias en características del suelo y variación microclimática entre las áreas de Chillán y San Carlos.

Las evidentes diferencias entre los rankings de San Vicente y La Posada dan cuenta de la incidencia de la interacción genotipo ambiente y se pueden explicar en función de diferencias ambientales entre los sitios de ensayo, las cuales favorecen de forma preferencial el desempeño del material de secano en el sitio del primer ensayo. En estas condiciones es recomendable el uso de rankings y selecciones específicas para cada sitio, más que de un ranking conjunto para evaluarlos a ambos simultáneamente.

En el ensayo El Mirador los híbridos intraespecíficos que combinan atributos de las madres australianas del huerto semillero, con padres tolerantes a sequía de la raza local, exhiben mejor desarrollo que las progenies de polinización abierta de las madres australianas. La mejor combinación específica corresponde a la madre australiana N° 40 (Suroeste de Apollo Bay en Victoria), con el padre de raza local N° 72 (árbol seleccionado en Ovalle, región de Coquimbo)

REFERENCIAS

Booth, T. y Pryor L. 1991. Climatic requirements of some commercially important Eucalypt species Forest Ecology and Management 43(1991)

Borralho, N. 1995. The impact of individual tree mixed model methods (BLUP) in tree breeding strategies. En: Eucalyptus Plantation: Improving Fibre Yield and Quality (Eds. B. Potts, N. Borralho, J. Reid, R. Cromer, W. Tibbits y C. Raymond). pp. 141-145. Proc. CRC-IUFRO. Conf., Hobart, 19-24 Feb. CRC for Temperate Hardwood Forestry, Hobart (Australia).

Caivin, B. 1988. Pistil treatments for improved fertility in hybridization of *E. gunnii* (Hook). In sexual reproduction in higher plants: proceedings of the 10th International Symposium on the sexual reproduction of the high plants, 30th May to 4th June 1988. University of Siena, Siena, Italy. (Ed. PG M. Cresti, E. Pacini) pp 321-325 (Springer-Verlag, Berlin).

Dutkowsky, G. 1995. Genetic variation in drought susceptibility of *Eucalyptus globulus ssp globulus* in plantations in Western Australia. In : Potts BM, Borralho NMG, Reid JB, Cromer RN, Tibbits WN, Raymond CA (eds) Eucalypt plantations : improving the fibre yield and quality. CRC for temperate Hardwood Forestry, Hobart, Tasmania, pp 199-203

Dutkowski, G. and Potts, B. 1999. Geographical patterns of genetic variation in *Eucalyptus globulus ssp. globulus* and a revised racial classification. Aust J Bot 46:237–263

Dutkowski G.; Potts, B.; Borralho, N. 1997. Revised racial classification of *Eucalyptus globulus ssp. globulus* and the importance of including race in analysis of progeny trials. IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts. EMBRAPA, Colombo, Salvador, Bahia, Brazil, pp 322–329

Espejo, J.; England, N. and Griffin, R. 1995. Results of a crossing program with *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* in Chile. In: Potts, B.; Borralho, N.; Reid, J.; Cromer, R.; Tibbits, W. and Raymond, C. (eds) Eucalypt plantations: improving fibre yield and quality. Proc. CRCTHF-IUFRO Conf, Hobart, 19–24 Feb. CRC for Temperate Hardwood Forestry, Hobart, Tasmania, pp 239–240

Gilmour, A.R.; Thompson, R. and Cullis, B.R. 1995. Average information REML, an efficient algorithm for variance parameter estimation in linear mixed models. Biometrics 51:1440-1450.

Gilmour, A.R.; Thompson, R.; Cullis, B.R. and Welham, S.J. 1997. ASREML user's manual. July 24, 1997. 100 p.

Henderson, C.R. 1984. Applications of linear models in animal breeding. University of Guelph Press, Guelph.

Potts, B.M. y Dutkowski, 2012. Genetic variation in the susceptibility of *Eucalyptus globulus* to drought damage. Tree genetics & genomes. Springer.

Rojas, P. and Griffin, R., 1997. Fibre Yield Improvement Program (FYIP) of *E. globulus* Labill in Santa Fe Group. In: Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Salvador, Brasil. Pp 206-211

Rojas, P.; Ramirez de Arellano, P.; Contardo, C.; Balocchi, C. and Potts, B. 2001. Desarrollo de una metodología para la producción de semilla híbrida intra e interespecífica en un huerto semillero clonal de *Eucalyptus globulus*. Developing the Eucalypt of the Future, p 88

Santis, G. 2005. Mapa de reconocimiento de suelos de la región del Biobío (sector Norte). Memoria de Título, Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Toro, M.; Silió, M.; Rodríguez, C.; Soria, F. and Toval, G. 1998. Genetic analysis of survival to drought in *Eucalyptus globulus* in Spain. Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, NSW, Australia, Vol. 27, Pp: 499–502.

Wei, X. y N.M.G. Borralho. 1996. A simple model to describe age trends in heritability in short rotation tree species. En: "Tree improvement for sustainable tropical forestry". (Eds. Dieters, M.J.; A.C. Matheson; D.G. Nikles; C.E. Harwood y S.M. Walkers). pp 178-181. Proc. QFRI-IUFRO Conf., Caloundra, Queensland, Australia. 27 Oct.-1 Nov.

Williams, D.; Potts, B. and Black, P. 1999. Testing single visit pollination procedures for *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. Australian Forestry 62, 346-352

APÉNDICE 1
RANKING DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DEL ENSAYO LA POSADA
(Primer 5% del ranking)

Madre		Bloque	Arbol	Indice	Ranking
Selección raza local N°	57	4	4	7,039	1
Selección raza local N°	57	4	3	6,548	2
Selección raza local N°	104	5	1	5,656	3
Selección raza local N°	22	5	4	5,483	4
Selección raza local N°	7	5	3	4,804	5
Selección raza local N°	52	2	3	4,560	6
Selección raza local N°	79	1	1	4,527	7
Selección raza local N°	74	4	4	4,507	8
Selección raza local N°	104	1	1	4,481	9
Selección raza local N°	73	6	1	4,461	10
Selección raza local N°	57	4	2	4,457	11
Selección raza local N°	7	4	1	4,362	12
Selección raza local N°	73	6	2	4,316	13
Selección raza local N°	73	6	4	4,302	14
Selección raza local N°	104	6	1	4,246	15
Selección raza local N°	104	5	3	4,225	16
Selección raza local N°	14	2	1	4,167	17
Selección raza local N°	106	2	4	4,060	18
Selección raza local N°	57	6	3	4,026	19
Selección raza local N°	79	3	1	3,959	20
Selección raza local N°	57	4	1	3,908	21
Selección raza local N°	57	6	2	3,888	22
Selección raza local N°	57	5	4	3,887	23
Selección raza local N°	73	6	3	3,824	24
Madre australiana en HSC N°	33	1	2	3,804	25
Madre australiana en HSC N°	1	6	1	3,788	26
Madre australiana en HSC N°	2	4	1	3,760	27
Selección raza local N°	104	6	2	3,697	28
Selección raza local N°	42	5	4	3,676	29
Selección raza local N°	91	3	1	3,662	30
Selección raza local N°	104	5	2	3,660	31
Selección raza local N°	16	3	4	3,645	32
Selección raza local N°	104	4	2	3,631	33
Selección raza local N°	27	1	2	3,621	34
Selección raza local N°	28	4	1	3,619	35
Selección raza local N°	7	5	1	3,618	36
Selección raza local N°	91	3	2	3,618	37
Selección raza local N°	91	3	4	3,582	38
Selección raza local N°	74	5	1	3,459	39
Selección raza local N°	20	1	3	3,406	40
Madre australiana en HSC N°	2	1	4	3,379	41
Madre australiana en HSC N°	15	5	4	3,379	42
Selección raza local N°	7	3	1	3,356	43
Selección raza local N°	91	4	1	3,345	44
Selección raza local N°	36	1	3	3,340	45
Selección raza local N°	33	3	3	3,228	46
Madre australiana en HSC N°	2	1	1	3,228	47
Selección raza local N°	104	1	4	3,193	48
Selección raza local N°	104	5	4	3,081	49
Selección raza local N°	66	1	3	3,035	50
Madre australiana en HSC N°	2	6	3	3,031	51
Selección raza local N°	73	2	1	2,996	52
Selección raza local N°	106	4	1	2,993	53
Madre australiana en HSC N°	15	5	1	2,981	54
Selección raza local N°	57	1	1	2,972	55
Selección raza local N°	57	6	1	2,970	56
Selección raza local N°	106	2	3	2,947	57
Selección raza local N°	74	2	3	2,936	58
Selección raza local N°	79	1	3	2,936	59
Selección raza local N°	27	1	4	2,935	60

APÉNDICE 2
RANKING FAMILIAR ENSAYO LA POSADA

Madre		Índice	Ranking
Selección raza local N°	57	2,67180217	1
Selección raza local N°	104	2,52014762	2
Selección raza local N°	91	1,76639682	3
Selección raza local N°	79	1,65484552	4
Selección raza local N°	106	1,42681611	5
Madre australiana en HSC N°	6	1,4072	6
Selección raza local N°	73	0,98934691	7
Selección raza local N°	28	0,97498714	8
Madre australiana en HSC N°	33	0,96845824	9
Selección raza local N°	42	0,96616132	10
Selección raza local N°	52	0,96334056	11
Selección raza local N°	74	0,9587	12
Madre australiana en HSC N°	2	0,84792555	13
Selección raza local N°	36	0,74515261	14
Selección raza local N°	7	0,74284205	15
Selección raza local N°	27	0,68649739	16
Selección raza local N°	16	0,57372084	17
Selección raza local N°	66	0,56876781	18
Madre australiana en HSC N°	15	0,3723813	19
Selección raza local N°	22	0,35844634	20
Selección raza local N°	25	0,30873333	21
Selección raza local N°	14	0,21776542	22
Selección raza local N°	12	0,21278558	23
Selección raza local N°	20	0,15666133	24
Selección raza local N°	41	-0,03982068	25
Selección raza local N°	92	-0,1439769	26
Madre australiana en HSC N°	1	-0,22082875	27
Selección raza local N°	54	-0,32854167	28
Selección raza local N°	86	-0,33806455	29
Selección raza local N°	3	-0,35915706	30
Madre australiana en HSC N°	13	-0,3594	31
Madre australiana en HSC N°	16	-0,360625	32
Selección raza local N°	39	-0,46962227	33
Selección raza local N°	30	-0,48094623	34
Madre australiana en HSC N°	7	-0,58022009	35
Madre australiana en HSC N°	11	-0,678755	36
Selección raza local N°	40	-0,69787455	37
Madre australiana en HSC N°	25	-0,79013496	38
Selección raza local N°	107	-0,98591	39
Selección raza local N°	105	-1,22748273	40
Selección raza local N°	81	-1,265737	41
Madre australiana en HSC N°	26	-1,43655048	42
Selección raza local N°	96	-1,882925	43
<i>E. cladocalyx</i> (control)		-2,80899524	44
Selección raza local N°	69	-3,05135909	45
<i>E. camaldulensis</i> (control)		-5,05761905	46

APÉNDICE N° 3
RANKING DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DEL ENSAYO SAN VICENTE (Primer 5% del ranking)

Madre	Bloque	Árbol	Índice	Ranking	
Madre australiana en HSC N°	115	2	3	5,5262057	1
Selección raza local N°	241	2	4	5,2254703	2
Selección raza local N°	266	1	4	4,994102	3
Selección raza local N°	291	1	1	4,6599186	4
Selección raza local N°	273	2	4	4,4802804	5
Madre australiana en HSC N°	17	2	2	4,4187061	6
Selección raza local N°	27	2	1	4,343686	7
Selección raza local N°	273	6	2	4,2839837	8
Selección raza local N°	212	2	3	4,1811061	9
Selección raza local N°	294	4	4	4,1448467	10
Madre australiana en HSC N°	125	2	4	4,087858	11
Madre australiana en HSC N°	17	4	1	4,0411099	12
Madre australiana en HSC N°	16	2	1	3,8973849	13
Selección raza local N°	2106	1	3	3,8590675	14
Selección raza local N°	294	5	2	3,8135566	15
Selección raza local N°	227	3	4	3,7985884	16
Madre australiana en HSC N°	115	3	4	3,7740577	17
Madre australiana en HSC N°	115	2	1	3,7443568	18
Madre australiana en HSC N°	12	5	3	3,7346548	19
Selección raza local N°	279	5	4	3,6344548	20
Selección raza local N°	2106	3	3	3,5805051	21
Selección raza local N°	2104	2	3	3,5642643	22
Selección raza local N°	291	3	1	3,5577056	23
Selección raza local N°	212	2	4	3,5524695	24
Selección raza local N°	294	5	4	3,5419592	25
Madre australiana en HSC N°	17	2	1	3,541004	26
Selección raza local N°	291	5	4	3,4223789	27
Selección raza local N°	291	5	3	3,3476499	28
Selección raza local N°	291	5	1	3,3347144	29
Selección raza local N°	2104	2	1	3,328712	30
Selección raza local N°	2104	1	2	3,2819972	31
Madre australiana en HSC N°	133	4	2	3,2647931	32
Madre australiana en HSC N°	115	5	2	3,2594481	33
Selección raza local N°	273	4	3	3,2156739	34
Madre australiana en HSC N°	17	4	4	3,186644	35
Madre australiana en HSC N°	17	5	4	3,1697136	36
Madre australiana en HSC N°	133	3	2	3,1650193	37
Selección raza local N°	279	2	2	3,1458441	38
Selección raza local N°	294	3	3	3,130752	39
Selección raza local N°	216	3	4	3,1002577	40
Selección raza local N°	291	1	2	3,0709863	41
Madre australiana en HSC N°	11	4	2	3,0439974	42
Selección raza local N°	254	5	1	3,0331768	43
Selección raza local N°	216	3	3	3,0325341	44
Selección raza local N°	294	3	2	3,0316354	45
Madre australiana en HSC N°	16	3	1	3,0311356	46
Selección raza local N°	252	3	3	3,0063064	47
Selección raza local N°	273	6	1	2,9915313	48
Madre australiana en HSC N°	115	3	2	2,9486315	49
Selección raza local N°	267	3	2	2,9390835	50
Madre australiana en HSC N°	125	3	3	2,9332856	51
Madre australiana en HSC N°	12	2	2	2,9201885	52
Madre australiana en HSC N°	17	4	2	2,9145517	53
Selección raza local N°	266	6	3	2,848331	54
Madre australiana en HSC N°	116	3	3	2,8400611	55
Madre australiana en HSC N°	214	3	4	2,8279951	56
Selección raza local N°	214	3	2	2,8246998	57
Selección raza local N°	288	5	4	2,8155485	58
Madre australiana en HSC N°	111	3	2	2,8108821	59
Madre australiana en HSC N°	115	5	3	2,7889172	60

APÉNDICE 4
RANKING FAMILIAR ENSAYO SAN VICENTE

Madre	Índice	Ranking
Madre australiana en HSC 7	2,25565915	1
Selección raza local 73	2,20547693	2
Selección raza local 91	1,7056267	3
Madre australiana en HSC 2	1,54351931	4
Madre australiana en HSC 15	1,46626584	5
Madre australiana en HSC 25	1,41617116	6
Selección raza local 94	1,3202014	7
Selección raza local 106	1,29572023	8
Selección raza local 104	1,12211162	9
Selección raza local 27	1,03146224	10
Madre australiana en HSC 33	1,00562934	11
Madre australiana en HSC 26	0,82656977	12
Selección raza local 57	0,77506622	13
Selección raza local 79	0,62293193	14
Selección raza local 56	0,60618136	15
Selección raza local 61	0,559407	16
Selección raza local 101	0,54913276	17
Selección raza local 41	0,54256724	18
Madre australiana en HSC 6	0,48619052	19
Selección raza local 36	0,47833677	20
Selección raza local 74	0,46221787	21
Selección raza local 67	0,41436574	22
Madre australiana en HSC 16	0,36010013	23
Madre australiana en HSC 5	0,33917801	24
Selección raza local 14	0,32443498	25
Selección raza local 12	0,31361742	26
Selección raza local 7	0,27319644	27
Selección raza local 96	0,26276717	28
Selección raza local 66	0,25413019	29
Selección raza local 34	0,23529513	30
Selección raza local 5	0,12056915	31
Selección raza local 30	0,094049	32
Selección raza local 16	0,09202543	33
Selección raza local 88	0,03523804	34
Selección raza local 52	-0,0420195	35
Madre australiana en HSC 1	-0,0464149	36
Selección raza local 15	-0,21443658	37
Selección raza local 42	-0,29089678	38
Selección raza local 20	-0,2950097	39
Selección raza local 81	-0,30946729	40
Selección raza local 107	-0,41292309	41
Selección raza local 39	-0,45366593	42
Selección raza local 28	-0,45536621	43
Selección raza local 92	-0,47506363	44
Selección raza local 3	-0,49361041	45
Selección raza local 29	-0,51230091	46
Madre australiana en HSC 11	-0,53235132	47
Selección raza local 86	-0,57353166	48
Selección raza local 23	-0,57906364	49
Selección raza local 22	-0,6410808	50
Selección raza local 54	-0,72671268	51
Selección raza local 71	-0,76747157	52
Selección raza local 89	-0,92353819	53
Selección raza local 40	-1,02160338	54
Selección raza local 69	-1,12285684	55
Selección raza local 100	-1,17628431	56
Madre australiana en HSC 13	-1,21797325	57
Selección raza local 105	-1,26816508	58
Selección raza local 24	-1,34705699	59
Selección raza local 37	-1,47643352	60
<i>E. cladocalyx</i> (control)	-2,53366003	61
<i>E. camaldulensis</i> (control)	-2,59086234	62
Selección raza local 26	-2,85304116	63

APÉNDICE N° 5
RANKING DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DEL ENSAYO EL MIRADOR
(Primer 5% del ranking)

Madre	Padre	Bloque	Árbol	Índice	Ranking
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	4	1	1,8215509	1
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	2	4	1,7878094	2
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	4	2	1,7415281	3
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	3	1	1,5995291	4
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	4	3	1,4938209	5
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	3	4	1,4197365	6
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 70	2	1	1,3772993	7
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	2	3	1,3674557	8
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 72	2	1	1,3513942	9
Madre australiana en HSC N° 5	Polinización abierta	4	2	1,3333151	10
Madre australiana en HSC N° 15	Polinización abierta	2	1	1,3176111	11
Madre australiana en HSC N° 7	Polinización abierta	6	3	1,2971283	12
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	1	4	1,2888057	13
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	1	4	1,2786163	14
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 70	1	1	1,2403794	15
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	3	2	1,2365522	16
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 70	1	2	1,2356149	17
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	4	4	1,2255789	18
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 72	2	3	1,2157249	19
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 72	3	2	1,1949197	20
Madre australiana en HSC N° 40	Polinización abierta	4	1	1,1767015	21
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	3	3	1,128114	22
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 72	3	4	1,127321	23
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	1	2	1,111656	24
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 70	3	4	1,0863307	25
Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 22	3	2	1,0673663	26
Madre australiana en HSC N° 32	Mezcla polen raza local	4	4	1,0496005	27
Madre australiana en HSC N° 40	Polinización abierta	3	1	1,0262551	28
Madre australiana en HSC N° 15	Polinización abierta	6	4	0,9930375	29
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	3	3	0,9862554	30
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	6	1	0,9732307	31
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 83	6	2	0,958893	32
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 22	2	3	0,9510969	33
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	3	3	0,9488349	34
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 70	2	4	0,9465664	35
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 22	2	4	0,943436	36
Madre australiana en HSC N° 33	Polinización abierta	6	3	0,93613	37
Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 22	6	2	0,9264905	38
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	2	2	0,923533	39
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 70	3	1	0,9214491	40
Madre australiana en HSC N° 5	Polinización abierta	4	3	0,9212606	41
Madre australiana en HSC N° 40	Polinización abierta	2	3	0,9208979	42
Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	2	1	0,9138571	43
Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 72	2	2	0,913705	44
Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	3	4	0,9129172	45

APÉNDICE 6
RANKING FAMILIAR POR CRUZA ENSAYO EL MIRADOR
(Aptitud combinatoria específica de las cruzas)

Cruza	Madre	Padre	Índice	Ranking
228	Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 72	1,26750978	1
23	Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 72	1,09328489	2
22	Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 70	0,67284127	3
211	Madre australiana en HSC N° 15	Selección raza local N° 70	0,65257272	4
140	Madre australiana en HSC N° 40	Polinización abierta	0,59619022	5
21	Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 22	0,53436903	6
15	Madre australiana en HSC N° 5	Polinización abierta	0,49727608	7
220	Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 22	0,4783704	8
221	Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 70	0,45495939	9
226	Madre australiana en HSC N° 32	Mezcla polen raza local	0,35488413	10
29	Madre australiana en HSC N° 7	Selección raza local N° 70	0,33170001	11
229	Madre australiana en HSC N° 40	Selección raza local N° 83	0,28828697	12
666	<i>E. globulus</i> (control)		0,28706452	13
115	Madre australiana en HSC N° 15	Polinización abierta	0,27002784	14
25	Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 83	0,26955108	15
222	Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 80	0,23165309	16
223	Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 83	0,21151557	17
24	Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 80	0,1957799	18
27	Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 89	0,17995727	19
225	Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 89	0,15535348	20
215	Madre australiana en HSC N° 15	Mezcla polen raza local	0,15510674	21
26	Madre australiana en HSC N° 5	Selección raza local N° 86	0,12128858	22
216	Madre australiana en HSC N° 26	Selección raza local N° 70	0,02957803	23
17	Madre australiana en HSC N° 7	Polinización abierta	-0,00321343	24
210	Madre australiana en HSC N° 7	Selección raza local N° 80	-0,09543659	25
224	Madre australiana en HSC N° 32	Selección raza local N° 86	-0,11182355	26
219	Madre australiana en HSC N° 26	Mezcla polen raza local	-0,12369818	27
126	Madre australiana en HSC N° 26	Polinización abierta	-0,16932153	28
218	Madre australiana en HSC N° 26	Selección raza local N° 83	-0,21379001	29
133	Madre australiana en HSC N° 33	Polinización abierta	-0,39014624	30
217	Madre australiana en HSC N° 26	Selección raza local N° 80	-0,40023289	31
444	<i>E. camaldulensis</i> (control)		-1,47092108	32

APÉNDICE 7
RANKING FAMILIAR POR MADRE ENSAYO EL MIRADOR
(Aptitud combinatoria general madres)

Madre	Índice	Ranking
Madre australiana en HSC N° 40	0,71732899	1
Madre australiana en HSC N° 15	0,50558665	2
Madre australiana en HSC N° 5	0,39484482	3
<i>E. globulus</i> (control)	0,28706452	4
Madre australiana en HSC N° 32	0,25437718	5
Madre australiana en HSC N° 7	0,07768333	6
Madre australiana en HSC N° 26	-0,17549291	7
Madre australiana en HSC N° 33	-0,39014624	8
<i>E.camaldulensis</i> (control)	-1,47092108	9

APÉNDICE 8
RANKING FAMILIAR POR PADRE ENSAYO EL MIRADOR
(Aptitud combinatoria general padres)

Padre	Índice	Ranking
Selección raza local N° 72	1,22395356	1
Selección raza local N° 22	0,50636971	2
Selección raza local N° 70	0,48641775	3
Selección raza local N° 89	0,16791712	4
Selección raza local N° 83	0,16502294	5
Mezcla polen raza local	0,13550761	6
Selección raza local N° 80	0,0184712	7
Selección raza local N° 86	0,00473251	8
Polinizac abierta HSC	-0,07699816	9

