



INFORME DE DIFUSIÓN PROGRAMA FORMACION PARA LA PARTICIPACION

1 Nombre de la propuesta :

Desarrollo de sistemas eficientes para producción y explotación de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus globulus*.

1.1 Modalidad

Presencial

1.2 Lugar donde se llevo a cabo la formación

Centro de Documentación del Instituto Forestal, Concepción.
Camino a Coronel. Km 10.

1.3 Rubro / Area temática de la actividad de formación

Genética y mejoramiento de *Eucalyptus*. Generación de semilla híbrida de *E. globulus* x *E. camaldulensis*, *E. globulus* x *E. nitens*.

Actividad práctica en la tarde. Técnicas de emasculación y polinización en flores de *E. camaldulensis*. Colecta, procesamiento y almacenamiento de polen de *E. camaldulensis*.

1.4 Fecha en la que se efectuó la actividad de formación:

23 de Diciembre de 2003

1.5 Postulante

Patricio Rojas Vergara

1.6 Entidad Responsable

Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción.



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACION PARA LA
INNOVACION AGRARIA

1.7 Coordinador
Dr. Jorge Toro V.

1.8 Identificación de los participantes de la propuesta

NOMBRE	RUT	TELEFONO FAX E-MAIL	DIRECCION POSTAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL	FIRMA
ANDREA FERNANDEZ		472528	COLÓN 9565 DPTO 22 TALCAHUANO	ING. FORESTAL	
GUILLERMO VARAS		790404	BENEDICTINOS 470 SAN PEDRO	ING. FORESTAL	
PATRICIA ABALLAY R.		480995 <u>PABALLAY@FUNDA CIONCHILE.CL</u>	MARCO POLO 4038 TALCAHUANO	ING. CIVIL INDUSTRIAL	
JUAN C. CARMONA		480995 JCCARMONA@FUN DACIONCHILE.CL	CASILLA 3662 CONCESPCION	ING.FORESTAL	
PATRICIO ALZUGARAY		749090	CASILLA 109-C CONCEPCION	INVESTIGADOR	
MARIA PAZ MOLINA		749090 <u>MMolina@INFOR.CL</u>	CASILLA 109-C CONCEPCION	INVESTIGADORA	



NOMBRE	RUT	TELEFONO FAX E-MAIL	DIRECCION POSTAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL	FIRMA
ANDRES FERNANDEZ		241658	O'HIGGINS 1695. CONCEPCIÓN	SILVICULTOR	
		243343			
JORGE TORO		979572	CALLE 1. N 394. VILLUCO	PROFESOR UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN	
HANS GROSSE		41-749090	Casilla 109-C	JEFE REGIONAL INFOR	
		41-749074			
		hgrosse@infor.cl			
LEOPOLDO QUEZADA		42-351015	Km 22 Camino Chillán- Quinchamalí Casilla 520. Chillán	VIVEROS	
		98874466			
		preplantas@terra.cl			
LAURA RALT		41-382561	LOS NARANJOS 320. VILLA EL ROCIO. CAMINO A PENCO	MICROPROPAG ACIÓN	
GONZALO HERNANDEZ		41-749090	CASILLA 109-C CONCEPCIÓN	INDUSTRIAS FORESTALES- INFOR	



NOMBRE	RUT	TELEFONO FAX E-MAIL	DIRECCION POSTAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL	FIRMA
JUAN CARLOS PINILLA		41-749090	CASILLA 109-C	SILVICULTURA Y MANEJO	
RICARDO OYARZUN		41-749090	CASILLA 109-C	INDUSTRIAS DE LA MADERA	
VERÓNICA CHACÓN		979572	CALLE1. N 394. VILLUCO. CONCEPCIÓN	VIVEROS	

2. ACTIVIDADES DE TRASFERENCIA

2.1. Resumen actividades de transferencia PROPUESTAS

FECHA	ACTIVIDAD	OBJETIVO	LUGAR	Nº y TIPO BENEFICIARIOS
JULIO 2003	Charla dirigida a empresas adheridas a la Corporación de la Madera (CORMA)	Difundir entre las empresas privadas la tecnología emergente en la generación de semilla híbrida de <i>Eucalyptus</i>	Concepción u otra región forestal	Empresas Forestales (5 a 10)
AGOSTO 2003	Charla dirigida a CONAF, INIA y PYMES	Difundir entre las instituciones y organismos públicos, como también a los pequeños y medianos empresarios forestales la difusión de tecnología emergente en la generación de semilla híbrida de <i>Eucalyptus</i>	Concepción u otra región forestal	CONAF, PYMES, INIA VIII a X Regiones
SEPTIEMBRE 2003	Día de terreno.	Demostración práctica en un huerto semillero de <i>E. globulus</i> de las técnicas de polinización artificial para generación de semilla híbrida.	VIII o X Región	Empresas Forestales (5 a 10) CONAF, PYMES, INIA VIII a X Regiones
OCTUBRE 2003	Artículo Técnico	Como revertir la incompatibilidad unilateral de <i>E. globulus</i>	Medio de difusión científica	



2.1. Resumen actividades de transferencia REALIZADAS

FECHA	ACTIVIDAD	OBJETIVO	LUGAR	Nº y TIPO BENEFICIARIOS
23 de Diciembre de 2003	Charla "Híbridos de Eucalyptus de Interés Potencial para Chile".	Difundir entre las empresas privadas y públicas la tecnología emergente en la generación de semilla híbrida de <i>Eucalyptus</i>	Sala de Conferencias de INFOR. Concepción	15 representantes de empresas y organismos públicos
Marzo 2004	Publicación artículo técnico "Híbridos de Eucalyptus de Interés potencial para Chile".	Difusión en un medio de comunicaciones masivo las técnicas de hibridación artificial de <i>Eucalyptus</i> .	Revista Chile Forestal.	Empresas, PYMES, organismos públicos, viveristas y profesionales vinculados al sector forestal.

2.2. Detalle por actividad de transferencia REALIZADAS

Fecha_23 de Diciembre de 2003_____

Lugar (Ciudad e Institución) . Sala de Conferencias de INFOR. Concepción

Actividad (en este punto explicar con detalle la actividad realizada y mencionar la información entregada.

Se efectuó una charla en la cual se mencionaron los principales factores de incompatibilidad genética entre especies de *Eucalyptus*, así como las características de la biología reproductiva de las especies de interés comercial para Chile. Se entregó a los asistentes una copia del paper que será publicado por el Chile Forestal en su edición de Marzo de 2004.

2.2. Especificar el grado de éxito de las actividades propuestas, dando razones de los problemas presentados y sugerencias para mejorar.

No fue posible efectuar las actividades prácticas de polinización artificial en un huerto semillero como fue programado, limitando la capacitación de los participantes.

2.3. Listado de documentos o materiales mostrados en las actividades y entregados a los asistentes (escrito y/o visual). (Se debe adjuntar una copia del material)

Tipo de material	Nombre o identificación	Idioma	Cantidad
Paper	Híbridos de <i>Eucalyptus</i> de Interés potencial para Chile.	Español	1
Presentación Power Point	Híbridos de <i>Eucalyptus</i> de Interés potencial para Chile.	Español	1



3. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

Indicar los problemas administrativos que surgieron en la preparación y realización de las actividades de difusión.

Falta de apoyo de la entidad responsable en esta actividad de especialización. Debido a la falta de vínculo laboral del participante individual no fue posible gestionar los contactos con instituciones públicas y/o privadas.

Fecha: 28 de Diciembre de 2003

Firma responsable de la ejecución: _____

Híbridos de *Eucalyptus* potenciales para Chile ¹

Potential *Eucalyptus* hybrids for Chile

PATRICIO ROJAS VERGARA

Consultor en Genética y Biotecnología Forestal.

Email : fellowrojas@yahoo.com

Summary

Progress on temperate *Eucalyptus* hybrids deployment has been restricted by incompatibility among species and absence of pollination techniques that permit low cost hybrid F₁ seed production. Incompatible barriers are mainly structural due to anatomy and flower biology like *E. globulus* crossing with small flower species like *E. nitens*, *E. gunnii*, *E. camaldulensis*, *E. viminalis*. This that can be solved using mechanical treatments to the flower (cutting the style). Other incompatible complex mechanism are associated with physiology and genetics of the species involved on specific crossing. Recently with OSP "one stop pollination" technique has reduced drastically intra specific crosses opening a real possibility to produce low hybrid seed cost once the pollination protocols have been developed for every specific combinatory. The most potential hybrids for cold sites in Chile are *E. globulus* x *E. nitens*, *E. globulus* x *E. gunnii* and for drought sites between IV and VIII Regions is : *E. globulus* x *E. camaldulensis*, nevertheless none of these hybrids, through seedlings or cuttings, have been produced at operational scale. The rooting ability of *E. camaldulensis* y *E. gunnii* will permit the clonal propagation of selected F₁ hybrid genotypes. To overcome the unilateral incompatibility of *E. globulus* as female on hybrid crossing with these species it is suggested to developed the following research : a) to match style length with pollen tube growth of male species through the measurement of "in vitro" pollen tube growth, b) to assess the genetic variability of *E. globulus* (subspecies, provenances, families and clones) performance in the interespecific crosses, c) to assess the autoincompatibility mother effect of *E. globulus*, d) selection of the best *E. globulus* mothers in term of low abortion rate and number of seed/flower pollinated and e) to backcross the F₁ pollen with *E. globulus* to overcome morphologic, physiologic and genetic barriers.

Keywords : hybrids, *E. globulus*, incompatible barriers, artificial pollination

Resumen

Los intentos de la hibridación artificial de especies de *Eucalyptus* en zonas templadas han sido limitados por las barreras de incompatibilidad entre las especies y la disponibilidad de técnicas de polinización de bajo costo que hagan factible la producción de semilla a mayor escala. Las barreras de incompatibilidad entre las especies son generalmente estructurales derivadas de la anatomía y la biología floral, como es el caso de *E. globulus*, en el cruzamiento con especies de flores pequeñas (*E. nitens*, *E. gunnii*, *E. camaldulensis*, *E. viminalis*, etc.) lo que puede ser resuelto con tratamientos mecánicos de la flor (corte del estilo). En otros casos los mecanismos de incompatibilidad son más complejos y están asociados a la fisiología y genética de las especies incluidas en los cruzamientos. Recientemente el desarrollo de la técnica OSP ("one stop pollination") ha permitido reducir drásticamente los costos de la polinización controlada, abriendo una ventana real de producir semilla híbrida a escala operacional, una vez determinado los protocolos de polinización artificial para cada combinatoria específica. Entre los híbridos de mayor potencialidad para las zonas de precordillera y con heladas en Chile se mencionan *E. globulus* x *E. nitens*, *E. globulus* x *E. gunnii* y para las condiciones de secano entre la IV y VIII Regiones : *E. globulus* x *E. camaldulensis*. Sin embargo la generación de estos híbridos a escala operacional por semillas y/o clones aún no es factible. Para resolver el problema de incompatibilidad unilateral de *E. globulus* como madre en cruzamientos con estas especies, se sugieren en esta nota técnica desarrollar las siguientes líneas de investigación a) ajustar el corte de estilo de *E. globulus* al genotipo del polen donante, mediante el estudio de crecimiento "in vitro" del tubo polínico, b) evaluar la variabilidad genética de *E. globulus* (subespecies, procedencias, familias y clones) en los cruzamientos con estas especies, c) evaluar el efecto de la autoincompatibilidad de las madres de *E. globulus* en los cruzamientos interespecíficos, d) seleccionar madres de *E. globulus* con mejores índices de abortos y semilla/flor polinizada en cruzamientos intraespecíficos y e) efectuar retrocruzamientos "backcrossing" del polen híbrido F₁ con madres de *E. globulus* para revertir las barreras morfológicas, fisiológicas y genéticas de incompatibilidad entre las especies puras.

Palabras claves : híbridos, *E. globulus*, barreras de incompatibilidad, polinización artificial.

1. Introducción

La industria forestal en Chile está basada en plantaciones de *Pinus radiata* (1,47 millones de has.) y varias especies del género *Eucalyptus spp*

(0,35 millones de has.) (INFOR, 2003), de las cuales un 70% es *E. globulus* Labill spp *globulus* y un 30% *E. nitens* (Deane & Maiden). El principal uso comercial de la madera de *E.*

¹ Este trabajo fue desarrollado como parte de una estadía de especialización en la Universidad de Tasmania, Plant Science Department. (Hobart, Tasmania, Australia), entre Mayo y Junio de 2003 y financiado por la Fundación para la Innovación Agraria - FIA - Ministerio de Agricultura y la Universidad de Concepción.

globulus es como insumo para la producción de pulpa Kraft y papeles. Esta especie fue introducida en 1823 en Lota y su probable origen es el sur de Tasmania, Australia. Sin embargo existen evidencias para sugerir que la raza local chilena ha sufrido modificaciones genéticas en al menos una característica clave, producto de las múltiples selecciones fenotípicas en varias generaciones desde su introducción (Lopez et al. 2001). La productividad de *E. globulus* en buenos sitios puede alcanzar entre 25-40 m³/ha/año, pero su cultivo es seriamente limitado por las heladas, suelos con texturas extremas como arcillas o arenas y sitios de secano con sequías prolongadas. La explicación de esta alta productividad como especie exótica, se debe a la ausencia de plagas y enfermedades existentes en su habitat natural (Pryor 1978); sin embargo al menos tres problemas fitosanitarios han aparecido en los últimos años : *Phoracanta semipunctata* cuando se cultiva esta especie en sitios con sequía, *Micosphaerella spp* en suelos con problemas de drenaje y recientemente *Teranytaina spp* en plantaciones jóvenes.

El mejoramiento genético de *E. globulus* comenzó en Chile en 1989 con la introducción de cientos de familias silvestres de polinización abierta originarias de Victoria y Tasmania (Australia), y con la selección de árboles plus en la raza local chilena, las que fueron probadas en ensayos de progenies por sub-líneas de mejoramiento (“sub-lines breeding populations”) para determinar su valor genético (Rojas Vergara, P. y Griffin R., 1994). La mejor procedencia seleccionada por su resistencia al frío, crecimiento y propiedades pulpables fue Jeeralang, que en la práctica resultó ser un híbrido intermedio entre la subespecie *bicostata* (Maiden, Blakely, & J. Simm.) Kirkpatr., la subespecie *pseudoglobulus* y con gran afinidad con la procedencia de Victoria de *E. globulus ssp. globulus* con la cual es cercana geográficamente (Jones, Steane et al. 2002). La especie preferida para plantación en condiciones de heladas en Chile y en otros países (Sudáfrica y Australia) es *E. nitens*, pero debido a sus inferiores propiedades de la madera para pulpa (densidad básica) es ahora manejada silviculturalmente para la producción de madera sólida en largas rotaciones. Las mejores fuentes de semilla de *E. nitens* para plantaciones industriales corresponden a Victoria Central (Torongo Plateau, Rubicon y Macalister) y New

South Wales (Tallaganda) (Rojas Vergara P., y Griffin R., 1994).

En la zona centro-norte de Chile y con menos de 400 mm. de precipitación anual. los mejores resultados obtenidos en ensayos de especies/procedencias corresponden a *E. camaldulensis*, *E. cladocalyx* y *E. sideroxylon*. Sin embargo los pequeños y medianos propietarios son reacios a plantar estas especies debido a la pobre forma de los árboles y la baja productividad de las plantaciones, medidas en ensayos (5-10 m³/ha/año). La mejor procedencia seleccionada de *E. camaldulensis* para la zona semiárida de Chile es Lake Albakutya, dentro de la cual INFOR ha probado una gran cantidad de familias de polinización abierta en ensayos de progenie en la zona centro y norte del país (Prado, Comunicación personal).

La hibridación de *E. globulus* con otras especies resistentes a la sequía y a las heladas es vista como una alternativa comercial para plantar sitios hoy marginales e improductivos (Rojas Vergara, 2001). La selección de genotipos híbridos F₁ resistentes a sequías y heladas, pero con las características de crecimiento y las propiedades de la madera de *E. globulus*, es una alternativa para la plantación del secano interior entre la IV y la VIII región y la precordillera andina entre la VII y la X Región. Los híbridos de mayor interés comercial para las zonas con mayor presencia de heladas serían : *E. globulus* x *E. nitens*, *E. globulus* x *E. viminalis* y *E. globulus* x *E. gunnii* en tanto que para zonas de secano los híbridos de mayor interés serían : *E. globulus* x *E. camaldulensis*, *E. globulus* x *E. sideroxylon*, *E. globulus* x *E. cladocalyx* y *E. globulus* x *E. occidentalis*. No existen, en el mundo sin embargo, experiencias de híbridos comerciales de *E. globulus* propagados por semillas o clones, pero sí existen algunas experiencias en cruzamientos recíprocos : *E. nitens* x *E. globulus*, y *E. camaldulensis* x *E. globulus* (Mesbah 1995; Meddings, McComb et al. 2001). Los únicos híbridos F₁ de *E. globulus* informados como flor madre son *E. globulus* x *E. dunnii*. (Barbour y Spencer 2000), *E. globulus* x *E. gunnii* (Rojas 2002, datos no publicados).

2. Los subgéneros de *Eucalyptus*

El género *Eucalyptus* pertenece a la familia *Myrtaceae* (Johnson y Briggs, 1984) que incluye 702 especies, distribuidos en varios subgéneros

(Cuadro 1). La reclasificación del género efectuada por Brooker (2000) denomina al subgénero *Monocalyptus* como *Eucalyptus* y mantiene la clasificación del subgénero *Symphyomyrtus*., así como también 7 especies relacionadas del género *Angophora*. La diversidad genética del género comprende árboles en formaciones boscosas (30-50 metros de altura), en formaciones abiertas (10 a 25 metros de altura) y “mallees” que son plantas de hábito arbóreo-

arbustivo con varios fustes (1 a 10 metros de altura). El género *Eucalyptus* incluye la especie latifoliada de mayor crecimiento en altura del mundo, *E. regnans*, (del latín *Rex*) que crece en las montañas de Victoria y Tasmania y que alcanza alturas de hasta 100 metros y otras especies como *E. vernicosa* que es un arbusto (Potts y Pederick 1999). *Eucalyptus* es un género endémico de Australia y de las islas que la rodean (Potts y Pederick 1999).

Cuadro 1. Los subgéneros de *Eucalyptus* (Pryor y Johnson 1971) y Brooker (2000) citado en (Potts, Barbour et al. 2003)

Table 1. The *Eucalyptus* subgenus (Pryor y Johnson 1971) y Brooker (2000) cited in (Potts, Barbour et al. 2003)

Pryor y Johnson	Brooker	No. de especies
Angophora (género)	Angophora	7
Blakella	Blakella	15
Corymbia	Corymbia	67
Eudesmia	Eudesmia	19
Gaubea	Acerosae	1
Gaubea	Cuboidea	1
Idiogenes	Idiogenes	1
Monocalyptus	Primitiva	1
Monocalyptus	Eucalyptus	110
Symphyomyrtus	Cruciformes	1
Symphyomyrtus	Alveolata	1
Symphyomyrtus	Symphyomyrtus	474
Telocalyptus	Minutifructus	4

3. Híbridos F₁

3.1 Complementariedad de características

Existe abundante evidencia de los híbridos existentes en el mundo para demostrar que ese tipo de material genético puede extender las plantaciones forestales a sitios marginales. Muchos híbridos comerciales están siendo plantados en diversos países del mundo : Brasil, China, Sudáfrica y el Congo (Cuadro 2). Aunque la mayoría de esos híbridos fueron desarrollados para rotaciones cortas orientadas a la producción de pulpa, existe aún mucho interés por desarrollar híbridos para la producción de madera aserrada. La hibridación puede mejorar la calidad de la madera de especies más densas, pero de crecimiento lento. La complementariedad es obtenida a través de los efectos aditivos y resulta

de la sinergia entre tratamientos independientes y en ambientes específicos donde ambos padres están menos adaptados que el híbrido (Sedgley y Griffin 1989). Existen algunas evidencias que los clones híbridos combinan características de una forma tal que son más atractivos comercialmente que las especies puras en un amplio rango de ambientes (QFRI, 1998). Estos híbridos prosperan particularmente bien en regiones y sitios donde hay factores restrictivos como menor precipitación, periodos de sequía, suelos delgados, alta incidencia de pestes, etc. Los híbridos inter-específicos tienen el potencial de extender el rango de plantación de una de las especies progenitoras, a través de su adaptación a las características ambientales o mejorar el retorno económico de una especie bien adaptada, con mejores propiedades de la madera (Barbour y Spencer 2000).

La complementariedad de las características está reflejada en el híbrido F_1 *E. urophylla* x *E. grandis* plantado en Brasil que combina la resistencia al hongo que afecta el fuste y el rápido crecimiento y forma de los árboles. La superioridad de los híbridos puede resultar de su verdadera heterosis (dependiente de los efectos genéticos no aditivos) o como es más común en el caso de los árboles, debido a la combinación beneficiosa de

características complementarias (dependiente de los efectos genéticos aditivos). En la mayoría de los casos la características morfológicas son heredadas en forma más o menos intermedia en la primera generación F_1 , aunque hay excepciones y el grado exacto de dominancia puede variar entre características y combinatorias de especies (Potts y Pederick 1999).

Cuadro 2. Plantaciones de híbridos de *Eucalyptus* en el mundo.
Modificado de Dungey, H. 2000.

Table 2. Eucalyptus hybrid plantations in the world.
Modified from Dungey, H. 2000.

País	Tasa de plantación anual (has.)	área plantada (has.)	% del total de plantación	Edad de rotación
Australia	Pequeña	200	0.4	6-7
Brasil	34.900	179.280	0.4-9.5	6-9 pulpa, 14-16 madera
China	200	-	2.0	8
Congo	4.035	82.035	4-100	6
Indonesia	6.000	48.000	Desconocido	6-10
Tailandia	Pequeña	Pequeña	-	5 pulpa, 70 madera
Sudáfrica	11.680	63.730	0.1-9.0	Desconocido

3.2 Heterosis

Los híbridos F_1 son derivados directamente de la cruce de dos especies padres (A x B). En los cultivos agrícolas los híbridos involucran cruces de líneas altamente endógamas y homocigotas y la generación F_1 es usualmente heterocigota. En las cruces de *Eucalyptus* que son altamente heterocigotas, la generación F_1 puede resultar altamente variable, aunque en términos prácticos no debería ser más variable que cualquiera de los padres. El backcrossing se produce cuyo se cruza la generación híbrida F_1 con la generación F_0 (con cualquiera de los padres, aunque lo más común en el caso de la hibridación de los *Eucalyptus* es que se aplique el polen híbrido F_1 sobre la flor madre). La superioridad híbrida puede ser incrementada a través de la heterosis, epistasis o complementariedad de los tratamientos.

3.3 Remoción de la endogamia.

La mayoría de los híbridos usados comercialmente en el área forestal son consecuencia de selecciones hechas en árboles de polinización abierta (híbridos espontáneos) que

han sido propagados por estacas como es el caso de las experiencias tropicales y sub tropicales. No existen experiencias de híbridos comerciales que sean producto de programas de mejoramiento genético con cruzamientos planificados. Los controles o testigos intra específicos están generalmente ausentes o son poco confiables (generalmente son árboles de polinización abierta de las especies puras y que no están relacionadas con la cruce F_1). En este caso la superioridad híbrida puede ser simplemente la liberación de la depresión endogámica, lo cual podría ser fácilmente obtenido en cruzamientos intra-específicos. La liberación de la endogamia es considerada como la principal fuente de superioridad de los híbridos de *Eucalyptus*, cuando los híbridos son comparados con controles de polinización abierta o razas locales endógamas (Potts y Gore 1993; Griffin, Harbard et al. 2000). La pregunta remanente es si esta ganancia genética podría ser alcanzada fácilmente, removiendo este efecto endogámico en las

especies progenitoras en cruzamientos intraespecíficos (Eldridge, Davidson et al. 1993).

El aspecto clave para evaluar el crecimiento de los híbridos inter específicos y su comportamiento genético es primero incluir controles sin endogamia y después definir los sitios adecuados para su prueba (Potts, Volker et al. 1992). El sistema reproductivo del género *Eucalyptus* permite la autopolinización (Griffin y Hy 1979) que reduce la producción de semillas, el porcentaje de germinación en vivero e incrementa la proporción de genotipos defectuosos y anormales, disminuye el crecimiento, la supervivencia y el vigor de los árboles en las plantaciones (Hardner y Potts 1995). También afecta la cantidad de óvulos fecundados, la cantidad de semillas/cápsula y el porcentaje de abortos de los óvulos fecundados (proporción de semillas viables/número total de semillas).

3.4 Resistencia a pestes

La susceptibilidad a las pestes es un importante factor a considerar cuyo se desarrolla un programa de hibridación a escala operacional. En el caso de *E. globulus* cuyo la principal característica a mejorar es la tolerancia al frío (Tibbits 1986), debe evaluarse el efecto de la hibridación respecto a una mayor susceptibilidad a *Mycophaerella spp* (Dungey, Potts et al. 1997). Esto es difícil de predecir a partir de las especies progenitoras, por lo cual los híbridos deben ser ensayados cuidadosamente antes de su propagación comercial. (Dungey y Potts 2001).

3.5 Introgresión "Backcrossing"

La mayoría de los híbridos propagados comercialmente corresponden a la primera generación (F_1) o generaciones avanzadas (F_2 o backcrossing) y han sido propagados por semillas, en la mayoría de los casos. Los híbridos F_1 son un arreglo intermedio de las características deseables, en las cuales la introgresión a través del backcrossing permite una mejor combinación de las características a ser mejoradas (Potts, Volker et al. 2000). La recombinación y segregación de la F_2 puede resultar en el quiebre de la incompatibilidad genómica o la interrupción de los complejos génicos. El backcrossing de individuos selectos F_1 sobre una de las especies progenitoras puede incrementar la cantidad de plantas viables (Griffin, Harbard et al. 2000). Es importante diferenciar el quiebre genético en generaciones avanzadas de la remoción de los

efectos endogámicos. En un ensayo F_2 backcrossing *E. globulus* x (*E. nitens* x *E. globulus*) las conclusiones más importantes fueron

- No hay evidencias de principales barreras prezigóticas entre esas especies y la viabilidad del polen híbrido F_1 fue similar al polen del genotipo de *E. globulus* más variable (Tylyard y Potts, datos no publicados)
- El híbrido F_1 exhibió mayor mortalidad en los primeros cuatro años que la cruce intraespecífica y el F_2 backcross.

4. Barreras de cruzamientos

Las especies de *Eucalyptus* son bien conocidas por sus débiles barreras reproductivas, que dependen del grado de separación taxonómica, la sincronía de floración, el tamaño de la flor, el ajuste "fitness" híbrido (Griffin, Burgess et al. 1988). La hibridación entre especies de los principales subgéneros no ocurre natural ni artificialmente. Las principales causas genéticas de inviabilidad del esporofito híbrido F_1 incluye: (i) desarmonía del genoma y crecimiento incompatible, (ii) acción complementaria dañina de uno o pocos genes; o (iii) efectos citoplásmicos (Levin, 1978).

La hibridación interespecífica a menudo ocurre en poblaciones naturales de *Eucalyptus*, y se cree es parte del significativo proceso evolutivo del género (Potts y Jackson 1986). De 528 especies examinadas, 289 (55%) fueron registradas en al menos una combinatoria híbrida (Griffin, Burgess et al. 1988). La hibridación natural y artificial de los diferentes subgéneros no es factible (Pryor 1978) aunque la hibridación dentro de los subgéneros es relativamente común, dependiendo de la co-ocurrencia de las especies, el grado de traslape de la floración y la presencia de polinizadores, las diferencias ecológicas y las barreras reproductivas de post-cruzamientos. La frecuencia de las hibridaciones naturales disminuye en cuanto se incrementa la distancia taxonómica entre las especies progenitoras : <inter-subgéneros<inter-secciones<inter-series<intra-series (Griffin, Burgess et al. 1988). El éxito de las hibridaciones artificiales entre secciones del subgénero *Symphomyrtus* se puede apreciar en la Figura 1, en donde existen incompatibilidades evidentes entre las secciones *Maidenaria* ("Gums"), *Transversaria* ("Blue y

Grey Gums"). Bisectaria ("Malles y Gums") y Dumaria ("Malles")

Mientras los híbridos naturales pueden existir entre especies cuya época de floración se traslapa, las barreras reproductivas de pre y post cruzamiento limitan el éxito de estos cruzamientos (Barbour y Spencer 2000).

- i. Las barreras de pre – cruzamientos están asociadas a la sincronía de floración y los vectores de polinización.
- ii. Las barreras de post – cruzamientos están relacionadas con barreras pre-cigóticas presentes en el estigma o en el estilo y con barreras post-cigóticas relacionadas con el crecimiento del embrión y abortos posteriores
- iii. Las barreras de post-dispersión que están relacionadas con la esterilidad de los F_1 y quiebres genéticos en generaciones avanzadas

4.1 Barreras pre-cigóticas

La barrera más común del post-cruzamiento es cuando los tubos polínicos de las especies de flores pequeñas no pueden recorrer el largo total del estilo de las especies de flores más grandes (Gore, Potts et al. 1990; Barbour y Spencer 2000; Potts, Volker et al. 2000; Potts y Dungey 2001). Esta barrera estructural es la principal restricción para la producción de híbridos F_1 de *E. globulus* spp *globulus*, que tiene una flor más grande que la mayoría de las especies con las cuales resulta interesante hibridarla como *E. gunnii*, *E. camaldulensis*, *E. nitens*, *E. grandis*, *E. dunnii*). Determinar exactamente de qué manera esta diferencia en el tamaño de la flor y el largo del estilo (barrera estructural) causa una reducción significativa en la producción de semilla híbrida es aún desconocido. No se produce ninguna semilla cuyo se aplica polen de *E. nitens* directamente sobre flores femeninas de *E. globulus* spp *globulus*, sin embargo la cruza es exitosa cuando se usa polen F_1 híbrido. La cruza entre especies taxonómicamente muy relacionadas presenta pocas barreras de post-cruzamientos y pre-zigóticas en la producción de semilla híbrida (Cauvin 1983; Cauvin 1983; Cauvin, Potts et al. 1987). Sin embargo dos principales barreras pre-zigóticas a la hibridación dentro del subgénero han sido identificadas, una es estructural, la otra es fisiológica (Potts y Gore 1993).

La barrera estructural es unilateral y se debe a que el crecimiento del tubo polínico de especies de flores pequeñas no pueden recorrer el largo total del estilo de las especies de flores más grandes (Gore, Potts et al. 1990). Esta barrera estructural se encuentra cuando se intenta hibridar *E. globulus* con especies de flores pequeñas, por ejemplo : *E. nitens*, *E. viminalis*, *E. camaldulensis*. Existe un gran interés en quebrar esta barrera estructural debido a que la flor de *E. globulus* es relativamente grande, fácil de polinizar y emasculada y tiene el potencial de producir mayor cantidad de semillas que las otras especies. La emasculación de la flor y el corte del estilo, destruyen la secuencia natural de los eventos. La caída del opérculo comienza la secuencia con la apertura de los estambres y la liberación del polen de los estambres, por lo cual existen mínimas proporciones de polen viable en las anteras después de dos días de la caída del opérculo (ántesis). La expansión del estilo comienza el proceso de maduración del estigma, el cual se transforma en un estanque de exudación que acumula en su superficie para la adhesión y germinación del polen. Cuyo la flor es emasculada y se corta el estilo, los experimentos efectuados demuestran que la superficie del estilo herida es receptiva inmediatamente. Esto indica que el desarrollo del estigma es un mecanismo de regulación para reducir la autopolinización y aún más sugiere que esta substancia que está presente en el tejido vascular del estilo estimula la germinación del polen.

(Pound, Patterson et al. 2003) estudiaron si la competición del polen favorecía polen exógeno en desmedro de la autopolinización. Para esto se efectuaron cruzamientos exógenos, del mismo árbol (autopolinización) y una mezcla de ambos en tres árboles parcialmente incompatibles. La paternidad de la semilla individual que resultó de los cruzamientos fue determinada mediante isoenzimas. No se encontró evidencia de competencia de polen. Sin embargo, la paternidad de la semilla reflejó el nivel de autoincompatibilidad de cada árbol, separto la semilla de polen exógeno y semilla de autopolinización. Aún más el número de semillas por cápsula después de la polinización con mezcla de polen fue significativamente menor que aquella efectuada con polen exógeno en al menos dos árboles auto compatibles. Estos resultados sugieren que ambos tipos de polen (del mismo árbol y de otros) alcanzan los óvulos después de

una mezcla de polinización y que un mecanismo tardío de autoincompatibilidad opera para abortar una cierta proporción de óvulo autopenetrados.

Las barreras fisiológicas de incongruidad, se incrementan con la distancia taxonómica entre las especies.

Algunos intentos para superar esta barrera entre especies incompatibles (por ejemplo cruzar especies del subgénero *Symphyomyrtus*, sección *Transversaria* con aquella de la sección *Adnataria*) han sido exitosas usando tratamiento de hexano en el estigma, lo cual implica una base fisiológica de la barrera.

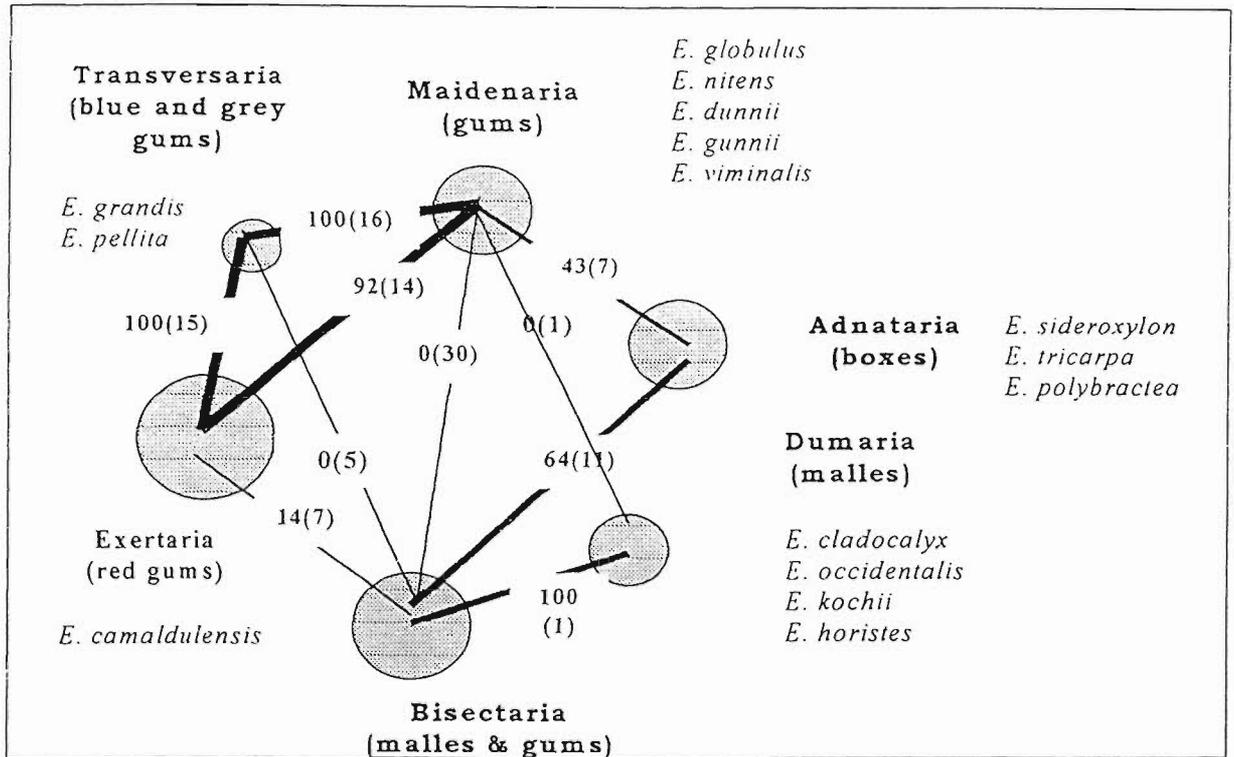


Figura 1. Híbridos artificiales de *Eucalyptus* entre secciones del subgénero *Symphyomyrtus*. Los valores representan porcentajes de éxito de las combinatorias híbridas, en las cuales el número de especies probadas aparece en paréntesis. Compilado de Griffin et al, 1998; Ellis, 1991; Delaporte et al, 2001; Potts et al 2001; Potts et al 2003.

Figure 1. Artificial inter-sectional *Eucalyptus* hybrids in *Symphyomyrtus*. Values represent successful percentages of species combinations and number of species tested is shown in parentheses. Compiled from Griffin et al, 1998; Ellis, 1991; Delaporte et al, 2001; Potts et al 2001; Potts et al 2003.

4.2 Barreras post-cigóticas ("fitness")

El hecho de que ocurra un cruzamiento inter específico y que se produzca semilla híbrida, no significa que las plantas sobrevivirán y que ocurrirá introgresión (e.g, Ellis, 1991). Las interacciones genéticas desfavorables reducirán el ajuste híbrido. Tales barreras son asimétricas y los *Eucalyptus* no son una excepción.

Existen sin embargo pocos antecedentes sobre semilla F₁ híbrida de bajo potencial de germinación. En la mayoría de los casos cuyo se produce semilla híbrida, su capacidad germinativa, es similar a las cruza intra específicas. Sin embargo la inviabilidad híbrida puede manifestarse rápidamente en las características de las hojas y de las plántulas anormales, conocidas como enanas. Las plantas

híbridas F₁ producen diferentes porcentajes de plantas enanas, según la combinatoria específica que mueren en los primeros 4 a 6 años y sólo pocas alcanzan los 10 a 12 años (Pilipenka, 1969).

Se ha notado por otra parte que las plantas híbridas interespecificas tienen mayor vigor que los progenitores en los períodos juveniles, pero que disminuye con la edad. Altos niveles de inviabilidad en híbridos F₁ han sido informados en numerosas combinatorias híbridas (*E. nitens* x *E. globulus*, Potts et al 1992; *E. grandis* x *E. nitens*, Shelbourne et al, 1999). Existe también evidencia que el ajuste genético en híbridos del subgénero *Symphyomyrtus*, disminuye cuyo se incrementa la distancia taxonómica entre especies. Se han producido cruzamientos F₁ exitosos entre especies de distintas secciones, pero la frecuencia de la inviabilidad híbrida en tales cruza amplias es a menudo alta y sólo después de una intensiva selección, se han producido híbridos comerciales para plantación (*E. camaldulensis* x *E. globulus*, *E. grandis* x *E. globulus*). Existe alguna evidencia que la rendimiento de los híbridos F₁ disminuye

en el incremento de las distancias taxonómicas entre las especies (Potts, Volker et al. 2000). Se han producido cruzamientos F₁ híbridos entre series y entre secciones del subgénero *Symphyomyrtus* (por ej. *E. gryis* x *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* x *E. globulus*, (Venkatesh y Sharma 1979; Mesbah 1995; Gwaze, Bridgwater et al. 2000; Meddings, McComb et al. 2001; Farah, Fechtal et al. 2002). A pesar de haberse obtenido selecciones de plantas híbridas vigorosas, la frecuencia de inviabilidad es mayor que las encontradas en especies más cercanas taxonómicamente y también con un mayor porcentaje de plantas anormales y enanas. Por ejemplo, altas tasas de disfunción en plantas híbridas F₁ *E. camaldulensis* x *E. globulus* han sido encontradas en plantas de 22 meses de edad en vivero con un 72% en relación al 1% encontrada en plantas de las especies pura. En plantas híbridas de *E. nitens* x *E. globulus* la tasa de plantas híbridas anormales fue de un 13% en relación a las especies puras incluidas como controles (Espejo, England et al. 1995).

Cuadro 3. Híbridos de *Eucalyptus* desarrollados para zonas templadas y semiáridas y que están siendo desarrollados en pruebas de terreno (Potts, Volker et al. 1992; Harbard, Griffin et al. 2000; Lopez, Potts et al. 2000; Potts, Barbour et al. 2003) :

Table 3. Eucalyptus hybrids developed for temperate and semiarid regions and that are being tested in the field. (Potts, Volker et al. 1992; Harbard, Griffin et al. 2000; Lopez, Potts et al. 2000; Potts, Barbour et al. 2003) :

Tipo de Cruzamientos	Germinadas(%)*	Normal/ germinadas (%)**	Normal/ sembrada (%)***
Inter-series F₁			
<i>E. nitens</i> x <i>E. globulus</i>	48	91	44
<i>E. dunnii</i> x <i>E. globulus</i>	31	63	20
Inter-sección F₁			
<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>	42	47	20
<i>E. urophylla</i> x <i>E. dunnii</i>	17	54	9
<i>E. grandis</i> x <i>E. globulus</i>	9	80	7
<i>E. dunnii</i> x <i>E. grandis</i>	50	18	6
<i>E. grandis</i> x <i>E. dunnii</i>	17	39	6
Backcrosses			
<i>E. grandis</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. globulus</i>)	61	77	47
<i>E. globulus</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. globulus</i>)	57	71	41

* germinación promedio de las cruza

** proporción de plantas germinadas que fueron normales

*** proporción de semillas sembradas que produjeron plantas normales

5. Crecimiento de los híbridos F₁.

5.1 *E. gunnii* x *E. globulus*

La hibridación entre *E. gunnii* x *E. globulus* o la crucea recíproca es de interés ya que permite la combinación de los genes de una de las especies más resistentes al frío con los genes de la especie de mejores características pulpables para zonas templadas. Este híbrido sería interesante para la precordillera de Los Andes entre la VII y la X Región de Chile. Ambas especies están clasificadas dentro del mismo subgénero *Symphyomyrtus*, la misma serie *Viminales* y la misma sección *Maidenaria* (Pryor y Johnson 1971). La resistencia al frío es heredada de forma intermedia en el híbrido F₁ con una parcial dominancia hacia a *E. globulus*, cuando la crucea es efectuada en flores femeninas de *E. gunnii* (Tibbits 1991; Manson y Potts 1995). Si el híbrido fuera de suficiente vigor esto permitiría la extensión de plantaciones de *E. globulus* hacia zonas más frías. Sin embargo para transformarse en una alternativa operacional, este híbrido *E. globulus* x *E. gunnii* debiera superar el crecimiento de *E. nitens*, o al menos superar su calidad pulpable, que es la especie que comúnmente reemplaza a *E. globulus* en estos sitios más húmedos y con más presencia de heladas (Tibbits, Boomsma et al. 1997). Los ensayos efectuados en Tasmania (Australia) en cuatro altitudes (200-400-530-650 m.s.n.m.) con el híbrido F₁ *E. gunnii* x *E. globulus* comparado con las especies progenitoras y *E. nitens* demostraron que el crecimiento en área basal del híbrido a los 3 años era intermedio entre *E. gunnii* y *E. globulus* spp *globulus* en los dos sitios de menor altitud, pero en ninguno de los sitios fue superior al crecimiento del material genético de *E. nitens* usado rutinariamente en plantaciones operacionales. No existen antecedentes de crecimiento en la hibridación recíproca *E. globulus* x *E. gunnii*, aunque existen antecedentes de buenos resultados en la generación de familias híbridas por el sistema de polinización artificial en una sola visita.

5.2 *E. nitens* x *E. globulus*

También ha existido bastante interés en desarrollar el híbrido *E. nitens* x *E. globulus* o la crucea recíproca que combine la resistencia al frío y el crecimiento de *E. nitens* con la propiedades pulpables de *E. globulus*. Ambas especies pertenecen al mismo grupo taxonómico (Serie : *Viminales*, Sección : *Maidenaria*).(Tibbits 1986; Tibbits 1988; Tibbits, Boomsma et al. 1997;

Tilyard, Potts et al. 2000; Vergara-Rojas, Ramirez de Arellano et al. 2001). La limitante de la propagación del híbrido es la dificultad del enraizamiento y los costos de producción por estacas (clones). Los resultados de ensayos con el híbrido *E. nitens* x *E. globulus* en West Ridgley, Tasmania han concluido lo siguiente :

- (a) El híbrido F₁ tiene menor porcentaje de éxito en los cruzamientos, comparado con la especie pura *E. nitens* (Potts, Volker et al. 1992; Volker 1995)
- (b) El híbrido F₁ tiene mayor nivel de fenotipos anormales (por ej. plantas enanas) y mortalidad en vivero y en ensayos de terreno. Aparentemente existen diferencias entre procedencias en la compatibilidad de los cruzamientos con *E. globulus*.(Tibbits, Potts et al. 1991; Volker 1991)
- (c) La resistencia al frío del híbrido fue más cercana a la especie más sensible *E. globulus*.(Tibbits 1991; Volker 1991)
- (d) La supervivencia y crecimiento del híbrido F₁ es intermedia entre las especies progenitoras. (Volker 1995)
- (e) La densidad básica media de los híbridos sobrevivientes es intermedia entre los progenitores, pero ligeramente sesgada a la especie de menor densidad básica.
- (f) El híbrido F₁ inter específico es sensible a *Mycosphaerella*.(Dungey, Potts et al. 1997)

Los resultados del híbrido inter-específico F₁ *E. nitens* x *E. globulus* demostraron que es intermedio en resistencia al frío, crecimiento y densidad básica o comparable con alguna de las especies progenitoras (Volker, 1995). En algunas procedencias de *E. globulus* (Taranna) usadas como padres se obtuvo una heterosis negativa. En general el híbrido mostró baja supervivencia y una alta proporción de plantas de fenotipos anormales o de lento crecimiento que finalmente murieron.

5.3 *E. camaldulensis* x *E. globulus*

La tolerancia a la salinidad en suelos inundados del híbrido of *E. camaldulensis* x *E. globulus* ha sido probada en Australia en relación a clones de *E. camaldulensis*, familias de polinización abierta de *E. globulus* y plantas de cruzamientos intraespecíficos *camaldulensis* x *E. camaldulensis* en ensayos de invernadero (Meddings, McComb et al. 2001). En el ensayo se sometieron plantas de siete meses de edad por un período de 10 meses a

una solución de 350 mmol Na Cl/litro. *E. camaldulensis* tuvo mayor tolerancia a la salinidad en suelos inundados que *E. globulus*, medido en términos de supervivencia y crecimiento en altura. El crecimiento del híbrido fue intermedio entre las especies progenitoras, así como también las cruzas intraespecíficas de *E. camaldulensis* resistentes a la salinidad.

6. Estrategias para revertir la incompatibilidad unilateral en flores femeninas de *E. globulus*.

La barrera estructural es cuando se cruza *E. globulus* con especies de flores pequeñas como *E. nitens*, *E. viminalis*, *E. camaldulensis*, etc.. La principal incompatibilidad unilateral en flores femeninas de *E. globulus* es debida a barreras pre-cigóticas, relacionadas con factores morfológicos y fisiológicos. El factor morfológico está relacionado con la anatomía de la flor. La flor de *E. globulus* es mayor que cualquier otra especie del mismo sub-género, sección y serie. El largo del estilo de *E. globulus* es de 10 mm, el diámetro del anillo estaminal es de 15 mm, y el largo del tubo polínico es coherente con esta dimensión. Los factores fisiológicos están relacionados con mecanismos que impiden el crecimiento de tubos polínicos de otras especies en el estilo de *E. globulus*, reacciones químicas que reconocen polen incompatible e impiden su crecimiento, dejándolo arrestado en el estigma. Para resolver esta incompatibilidad unilateral de *E. globulus* en cruzamientos con especies de flores pequeñas de *Eucalyptus* se sugiere investigar los siguientes factores :

a) **Ajustar largo de estilo de *E. globulus* con largo del tubo polínico de la especie donante.** Se han obtenido resultados exitosos de cruzas híbridas usyo a *E. globulus* como flor madre con distintos cortes de estilo con *E. dunnii* (Barbour y Spencer, 2000), *E. nitens*, *E. viminalis* (Rojas et al, 2001) y *E. gunnii* (Rojas, datos no publicados). El principal factor limitante de la crusa híbrida se debe al diferente tamaño del estilo de *E. globulus* y el largo del tubo polínico de las especies donantes que inhiben la fertilización de los óvulos. Una forma simple de resolver esto es "ajustar" el largo del estilo de *E. globulus* a través de cortes mecánicos tangenciales o transversales ($1/3$, $2/3$, $1/2$, etc) al largo del crecimiento del tubo polínico de la especie donante.

- b) **Probar la variabilidad genética de *E. globulus* subespecies (*E. globulus* spp *bicostata*, *E. globulus* spp *maidenii*), procedencias, familias y clones.** Otras estrategia para superar la incompatibilidad unilateral de en cruzamientos híbridos con especies de flores pequeñas es probar las subespecies de *E. globulus* que tienen menores dimensiones en cuanto al largo del estilo. *E. globulus* spp *bicostata* tiene 3 yemas florales de 6-8 mm de diámetro en el anillo estaminal y *E. globulus* spp *maidenii* tiene 7 yemas que son menores a 6 mm de diámetro en el anillo estaminal. También es necesario probar la variabilidad genética en términos de compatibilidad de las cruzas híbridas con procedencias, familias y clones de *E. globulus*.
- c) **Disminuir la distancia taxonómica en las cruzas híbridas.** El objetivo es cruzar *E. globulus* con especies lo más afines taxonómicamente y evitar cruzamientos entre secciones. La frecuencia de híbridos naturales y artificiales disminuye con el aumento de la distancia taxonómica entre los progenitores : *inter - subgéneros* < *inter-secciones* < *inter-series* < *intra-series* (Griffin, Burgess et al. 1988)
- d) **Autopolinización - Autoincompatibilidad.** Es necesario comprobar en cruzamientos híbridos si las flores de *E. globulus* que se autopolinizan tienen diferentes sistemas de incompatibilidad para reconocer polen de otras especies en relación a aquellos que no se autopolinizan, que parcialmente se autopolinizan o que son autoincompatibles (Pound, Patterson et al. 2003)
- e) **Selección de madres compatibles de *E. globulus*.** Existen antecedentes que algunos clones son más compatibles que otros en cruzamientos intra e interespecíficos de *E. globulus* (Rojas et al, 2001). La mejor manera de disminuir el aborto de cápsulas, es seleccionar aquellas madres más compatibles, con menor porcentajes de abortos o mayor cantidad de semilla/flor polinizada en cruzamientos intra e interespecíficos, para ser empleados en cruzamientos híbridos.

f) Backcrossing de polen F_1 híbrido con *E. globulus* para quebrar las barreras de incompatibilidad en la F_2 . La recombinación y segregación en la F_2 puede resultar en el quiebre de las barreras de incompatibilidad (por ej. la incompatibilidad genómica y la interrupción de complejos de genes. El backcrossing o retrocruzamiento en genotipos

selectos F_1 de cualquiera de los progenitores, incrementa significativamente la proporción de plantas viables (Griffin, Harbard et al. 2000). Es importante diferenciar el quiebre de estas barreras de incompatibilidad genéticas y fisiológicas, con la liberación de la depresión endogámica en generaciones avanzadas de híbridos.

7. Bibliografía

- Barbour, E. L. and N. Spencer (2000). The potential of a crossing technique for interspecific hybridization between *E. globulus* and *E. dunnii*. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium. 9-14th April 2000 Noosa, Queensland, Australia. H. S. Dungey, M. J. Dieters and D. G. Nikles. Brisbane, Department of Primary Industries: 390-394.
- Cauvin, B. (1983). *Eucalyptus* hybridation contrôlée. Premiers resultats. Annales de Recherches Sylvicoles. AFOCEL. 85-117.
- Cauvin, B. (1983). Précautions pour l'hybridation contrôlée des *Eucalyptus*. Colloque international sur les *Eucalyptus* résistants au Froid, Bordeaux, France, AFOCEL.
- Cauvin, B., B. M. Potts, et al. (1987). *Eucalyptus* : Hybridation artificielle - barrières et hérédité des caracteres. Annales de recherches sylvicoles. Paris, Association Forêt-Cellulose. 1986: 255-303.
- Dungey, H. S. and B. M. Potts (2001). "Susceptibility of some *Eucalyptus* species and their hybrids to possum damage." Australian Forestry submitted.
- Dungey, H. S., B. M. Potts, et al. (1997). "Mycosphaerella leaf disease: genetic variation in damage to *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, and their F_1 hybrid." Canadian Journal of Forest Research 27(5): 750-759.
- Eldridge, K., J. Davidson, et al. (1993). *Eucalypt* domestication and breeding. Oxford, Clarendon Press.
- Espejo, J. E., N. F. England, et al. (1995). Results of a crossing program with *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* in Chile. 'Eucalypt plantations: Improving Fibre Yield and Quality' Proc. CRCTHF-IUFRO Conf., Hobart, 19-24 Feb., Hobart, Tasmania, CRC for Temperate Hardwood Forestry.
- Farah, A., M. Fechtal, et al. (2002). "Interspecific hybridization effect on the content and the chemical composition of essential oils of eucalyptus grown in Morocco." Biotechnologie, Agronomie, Societe et Environnement 6(3): 163-169.
- Gore, P. L., B. M. Potts, et al. (1990). "Unilateral Cross-Incompatibility in *Eucalyptus* - the Case of Hybridization between *Eucalyptus-Globulus* and *Eucalyptus-Nitens*." Australian Journal of Botany 38(4): 383-394.
- Griffin, A. R., I. P. Burgess, et al. (1988). "Patterns of natural and manipulated hybridisation in the genus *Eucalyptus* L'Herit. - a review." Australian Journal of Botany 36: 41-66.
- Griffin, A. R. and F. C. Hand (1979). "Post-anthesis development of flowers of *Eucalyptus regnans* F. Muell. and the timing of artificial pollination." Aust For Res 9: 9-15.
- Griffin, A. R., J. L. Harbard, et al. (2000). Breeding *Eucalyptus grandis* × *globulus* and other inter-specific hybrids with high inviability - problem analysis and experience with Shell Forestry projects in Uruguay and Chile. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium. 9-14th April 2000 Noosa, Queensland, Australia. H. S. Dungey, M. J. Dieters and D. G. Nikles. Brisbane, Department of Primary Industries: 1-13.
- Gwaze, D. P., F. E. Bridgwater, et al. (2000). "Rendimiento of interspecific F_1 eucalypt hybrids in Zimbabwe." Forest Genetics 7(4): 295-303.
- Harbard, J. L., R. Griffin, et al. (2000). "One stop pollination" a new technology developed by Shell Forestry technology unit. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14th April 2000 Noosa,

- Queensland. Australia. Brisbane. Department of Primary Industries.
- Hardner, C. M. and B. M. Potts (1995). "Inbreeding Depression and Changes in Variation after Selfing in *Eucalyptus-Globulus* Ssp *Globulus*." Silvae Genetica 44(1): 46-54.
- Jones, R. C., D. A. Steane, et al. (2002). "Microsatellite and morphological analysis of *Eucalyptus globulus* populations." Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere 32(1): 59-66.
- Lopez, G. A., B. M. Potts, et al. (2001). "Quantitative genetics of *Eucalyptus globulus*: Affinities of land race and native stand localities." Silvae Genetica 50(5-6): 244-252.
- Lopez, G. A., B. M. Potts, et al. (2000). The inheritance of flowering time in interspecific F₁ hybrids of *Eucalyptus*. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium. 9-14th April 2000 Noosa, Queensland, Australia. H. S. Dungey, M. J. Dieters and D. G. Nikles. Brisbane, Department of Primary Industries: 453-456.
- Manson, A. and B. M. Potts (1995). The inheritance of frost resistance in F1 and advanced generation hybrids between *Eucalyptus gunnii* and *E. globulus* Proceedings of the CRCTHF-IUFRO Conference, Hobart, Tasmania, CRC for Temperate Hardwood Forestry.
- Meddings, R. L. A., J. A. McComb, et al. (2001). "The salt-waterlogging tolerance of *Eucalyptus camaldulensis* x *E. globulus* hybrids." Australian Journal of Experimental Agriculture 41(6): 787-792.
- Mesbah, H. (1995). "Contribution of interspecific hybridization to the genetic improvement of *Eucalyptus* species in Morocco." Annales de la Recherche Forestiere au Maroc(No. 28): 56-71.
- Potts, B. M., R. C. Barbour, et al. (2003). "Genetic pollution of native eucalypt gene pools - identifying the risks." Australian Journal of Botany 51(1): 1-25.
- Potts, B. M. and H. S. Dungey (2001). Hybridisation of *Eucalyptus*: Key issues for breeders and geneticists. Developing the Eucalypt of the Future'. Proceedings of IUFRO International Symposium 10-15th September 2001, Valdivia, Chile. S. e. a. Compiled by Barros. Chile. Instituto Forestal.
- Potts, B. M. and P. Gore (1993). Reproductive Biology of *Eucalyptus* and application to breeding (Review for a course presented Universidad Austral de Chile: June, 1994; translated into spanish by Roberto Ipinza, Oriana González D. and Rodrigo Vergara). Valdivia, Cooperative de Mejoramiento Genetico Forestal, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- Potts, B. M. and W. D. Jackson (1986). Evolutionary processes in the Tasmanian high altitude eucalypts. Flora and Fauna of Alpine Australasia. Ages and Origins. B. A. Barlow. Melbourne, CSIRO: 511-527.
- Potts, B. M. and L. A. Pederick (1999). Chapter 1.1. Morphology, phylogeny, distribution and genetic diversity of eucalypts. Diseases of Eucalypts and Their Management. P. J. K. e. al. Melbourne, CSIRO: in press.
- Potts, B. M., P. W. Volker, et al. (1992). Barriers to the production of interspecific hybrids in *Eucalyptus*. Mass Production Technology for Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species (AFOCEL-IUFRO Symposium 1992), Bordeaux, Association Foret Cellulose.
- Potts, B. M., P. W. Volker, et al. (2000). The genetics of hybridisation in the temperate *Eucalyptus*. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14th April 2000 Noosa, Queensland, Australia. H. S. Dungey, M. J. Dieters and D. G. Nikles. Brisbane, Department of Primary Industries: 200-211.
- Potts, B. M., P. W. Volker, et al. (2000). The genetics of hybridisation in the temperate *Eucalyptus*. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees, Noosa, Queensland, Australia, Queensland Department of Primary Industries, Brisbane.
- Pound, L. M., B. Patterson, et al. (2003). "Pollen competition does not affect the success of self-pollination in *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae)." Australian Journal of Botany 51(2): 189-195.

- Pryor, L. D. (1978). "Reproductive habits of the eucalypts." Unasylva 30: 42-46.
- Pryor, L. D. and L. A. S. Johnson (1971). A classification of the eucalypts. Canberra, Australian National University Press.
- Scott, S. L., C. McArthur, et al. (2002). "Possum browsing - the downside to a eucalypt hybrid developed for frost tolerance in plantation forestry." Forest Ecology and Management 157(1-3): 231-245.
- Sedgley, M. and A. R. Griffin (1989). Sexual reproduction of tree crops. London, Academic Press.
- Tibbits, W. N. (1986). Controlled pollination studies with *E. globulus* and *E. nitens*. Proceedings of the ninth meeting of representative of the Research Working Groups no. 1 (Forest Genetics) of the Australian Forestry Council, Somerset, Tasmania, Australian Forestry Council.
- Tibbits, W. N. (1988). Investigating the potential role of hybrids with *E. nitens* in Tasmania. Proceedings 10th meeting Research Working Group 1, Forest Genetics, of the Australian Forestry Council., Gympie, Queensland, 30.
- Tibbits, W. N., D. B. Boomsma, et al. (1997). Distribution, biology, genetics, and improvement programs for *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* around the world. Proceedings of the 24th Biennial Southern Tree Improvement Conference, June 9-12 1997. G. Powell. Orlando, Florida, Southern Tree Improvement Committee: 1-15.
- Tibbits, W. N., B. M. Potts, et al. (1991). "Inheritance of Freezing Resistance in Interspecific F1 Hybrids of Eucalyptus." Theoretical and Applied Genetics 83(1): 126-135.
- Tibbits, W. N., Potts, B.M. and Savva, M.H. (1991). "Inheritance of freezing resistance in interspecific F1 hybrids of *Eucalyptus*." Theoretical and Applied Genetics. 83: 126-135.
- Tilyard, P., B. M. Potts, et al. (2000). Advanced generation hybrids between *Eucalyptus nitens* and *E. globulus*. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14th April 2000 Noosa, Queensland, Australia. D. G. Nikles. Brisbane, Department of Primary Industries: 514.
- Venkatesh, C. S. and V. K. Sharma (1979). "Comparison of a *Eucalyptus tereticornis* X *E. grandis* controlled hybrid with a *E. grandis* X *E. tereticornis* putative natural hybrid." Silvae Genetica 28: 127-131.
- Vergara-Rojas, P., P. Ramirez de Arellano, et al. (2001). Desarrollo de una metodología para la producción de semilla híbrida intra e interespecifica en un huerto semillero clonal de *Eucalyptus globulus*. Developing the Eucalypt of the Future' Proceedings of IUFRO International Symposium 10-15th September 2001, Valdivia, Chile. S. e. a. Compiled by Barros. Chile, Instituto Forestal.
- Volker, P. Quantitative genetics of *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* and their F1 hybrid. B. M. Potts and N. M. G. Borralho, University of Tasmania: 147.
- Volker, P. (1991). Preliminary results from a frost study with crosses of *Eucalyptus nitens*, *E. globulus* and *E. nitens* X *globulus*. Coonawarra, South Australia, 1991.
- Volker, P. W. (1986). Provenance trials of *E. globulus* and related species in Tasmania. Proceedings of the ninth meeting of representative of the Research Working Groups no. 1 (Forest Genetics) of the Australian Forestry Council, Somerset, Tasmania, Australian Forestry Council.
- Volker, P. W. (1995). Evaluation of *Eucalyptus nitens* x *globulus* for commercial forestry. 'Eucalypt plantations: Improving Fibre Yield and Quality' Proc. CRCTHF-IUFRO Conf., Hobart, 19-24 Feb., Hobart, Tasmania, CRC for Temperate Hardwood Forestry.
- Volker, P. W. (1995). Evaluation of \square *Eucalyptus nitens* \square x \square *globulus* \square for commercial forestry. Proceedings of the CRCTHF-IUFRO Conference, Hobart, Tasmania, CRC for Temperate Hardwood Forestry.

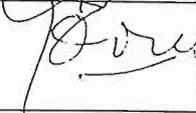
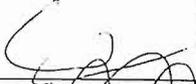
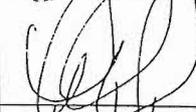
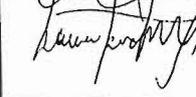
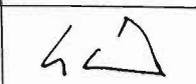
1.8 Identificación de los participantes de la propuesta **CHARLA INFOR**
DESARROLLO DE SISTEMAS EFICIENTES PARA
PRODUCCION Y EXPLOTACION DE HIBRIDOS

NOMBRE	RUT	TELEFONO FAX E-MAIL	DIRECCION POSTAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL	FIRMA
ANDREA FERNANDEZ HP		472528	CONDONQUE Dpto 22 TALLO.	ING. FORESTAL	<i>[Signature]</i>
Guillermo Uras F HP		790404	Benedictinos 47 U. S. Pedro	ING. FORESTAL	<i>[Signature]</i>
Fabrizio Aballoy R. HP		480495 paballoy@fundacionchil.cl	Marce Pto 4038 C/6, Talcahuano	I. Civil Individual	<i>[Signature]</i>
JUAN C. CARTONA HP		480995 jcartona@ FUNACONCHIL.cl	CMILLA 366L CONCEPCION	I. For	<i>[Signature]</i>
PATRICIO J. ALZUGARAY HP		749090 y INFOR	casilla 109 - C CONCEPCION	INVESTIGADOR	<i>[Signature]</i>
M ^o Pat Molina HP		749090 mmolina@infor.cl	Casilla 109 - C Concepción	Investigador	<i>[Signature]</i>

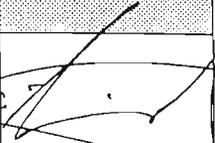
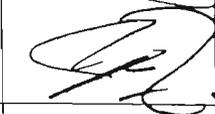
DE : SR. JORGE TORO
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

3 HP
3 HP

1.8 Identificación de los participantes de la propuesta

NOMBRE	RUT	TELEFONO FAX E-MAIL	DIRECCION POSTAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL	FIRMA
ANDRÉS FERNÁNDEZ ^{HA}		241658 243343	O'Higgins 1695 CONCEPCIÓN	Silvicultura	
JORGE TORO ^{HA}		779572	Quilicura N° 394 Villuco, Concepción	Silvicultura	
Hans Grois ^{HA}		41-749090 41-744024 hgrois@infod	casilla 109-C Concepción		
Joseph Dierzga ^{HA}		42-351015 98874466 jpdierzga@terra.cl	Via. 22, Camino de la "de Dierzga" Casilla # 525 Chillán	Viveros	
LAURA KOCH ^{IP}		41-382561	Los NARANJOS 320. VILLA EL ROCÍO. CAMINO APEMCO	Microproducción	
BOSZALO HERNÁNDEZ ^{HA}		41-749090	CASILLA 109-C CONCEPCIÓN	INDUSTRIAS	

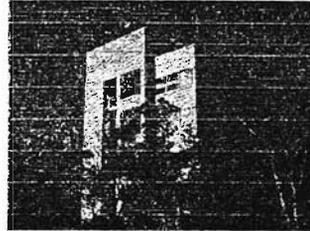
1.8 Identificación de los participantes de la propuesta

NOMBRE	RUT	TELEFONO FAX E-MAIL	DIRECCION POSTAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL	FIRMA
Juan Carlos Pinilla S.		41.749090	Casilla 109-C Concepción	Silvicultura y Maderos	
Ricardo Oyarzun		41-749090	Casilla 109-C Concepción	Industrias de la Redera	
Verónica Giacón Lillo		979572	Calle 1 No 394 Villuco Concepción	Viveros	MChambl



**HÍBRIDOS DE *Eucalyptus*
DE INTERÉS POTENCIAL PARA CHILE**
INFOR, Concepción 23 de Diciembre de 2003

Pasantía Plant Science Dpt.
University of Tasmania
Hobart, Tasmania, Australia



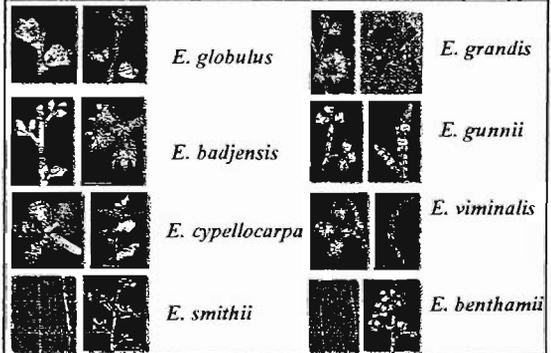
7 de Mayo al 11 de Junio del 2003.
Financiamiento FIA-U. de Concepción.

Cuadro 1. Los subgéneros de *Eucalyptus* (Priyor y Johnson 1971) y Brooker (2000) citado en (Potts, Barbour et al. 2003)

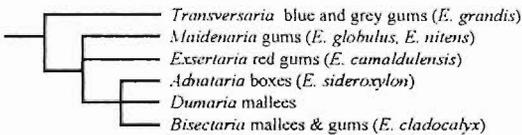
Table 1. The *Eucalyptus* subgenus (Priyor y Johnson 1971) y Brooker (2000) cited in (Potts, Barbour et al. 2003)

Priyor y Johnson	Brooker	No. de especies
Angophora (genero)	Angophora	7
Blakella	Blakella	15
Corymbia	Corymbia	67
Euclesma	Euclesma	19
Gaulea	Aceronia	1
Gmbea	Cuboveia	1
Idiogones	Idiogones	1
Monscalypus	Prunativa	1
Monscalypus	Eucalyptus	110
Symphomyrtus	Crociolomes	1
Symphomyrtus	Alveolata	1
Symphomyrtus	Symphomyrtus	374
Telocalypus	Munuafractus	4

***Eucalyptus* spp**



**Principales secciones
Symphomyrtus
(467 de 702 especies)**



Chappill and Ladiges 1996

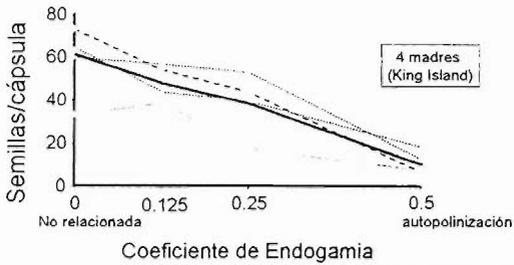
HÍBRIDOS



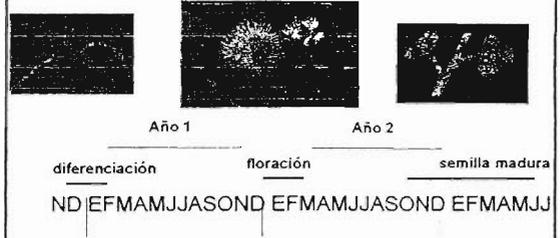
combinar
características de
2 ó mas especies
(F₁, F₂,
backcrossing,
triples híbridos)

E. nitens F₁ *E. globulus*

La endogamia reduce la cantidad de semillas
Efecto de la endogamia
en la cantidad de semillas/cápsula en *E. globulus*



Desarrollo floral de *E. nitens*



Estimación del flujo génico con
marcadores moleculares

Isoenzimas y Microsatélites



Distancia Buffer
E. grandis con polen de *E. urophylla*
400m 14% Campinhos *et al.* 1998
800m 3% Junghans *et al.* 1998

Expresión de
recesivos de

Eucalyptus morrisbyi

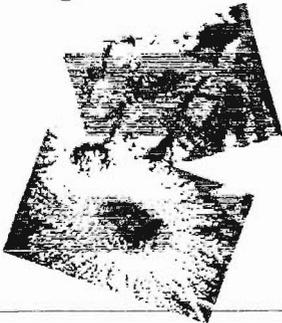
	mutante
autopolinización	19%
Pol. Abierta	3%
Cruz. Exógenos	0%

- Magnitud del efecto pue...

Potts and Wilesire 1997



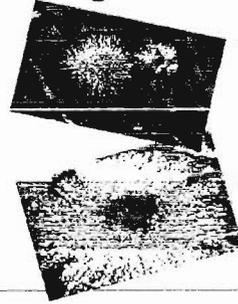
E. globulus x *E. camaldulensis*



- Posibilidad de combinar resistencia a la sequía (200-300 mm anuales) y enraizamiento de *E. camaldulensis* (70%)
- con propiedades de crecimiento, forma de los árboles y aptitud pulpable de *E. globulus*

Módulo I

E. globulus x *E. nitens*



- Posibilidad de combinar resistencia al frío (-8 grados) y productividad forestal de *E. nitens* (40-70 m3/ha)
- con propiedades pulpables de *E. globulus* (densidad básica, menor consumo específico ADT/m³)

Módulo I

E. globulus x *E. gunnii*

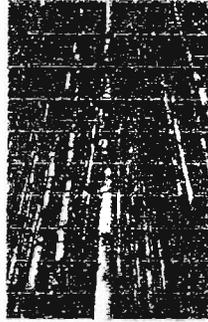


- Posibilidad de combinar resistencia al frío (-12 a -18 °C) y enraizamiento de *E. gunnii* (70%)
- con rectitud de los árboles, productividad y aptitud pulpable de *E. globulus*

• Técnicas de Hibridación de *Eucalyptus*

Módulo 1

HÍBRIDOS INTRAESPECÍFICOS



- A. Entre procedencias y subespecies

E. globulus (Jeerelang, Swansa) con la raza local chilena.

E. nitens de Victoria Central (Toorong) con New South Wales

E. bicostata. Antiquina

HÍBRIDOS INTRAESPECÍFICOS



- B. Entre familias de alto ranking genético en un huerto semillero.

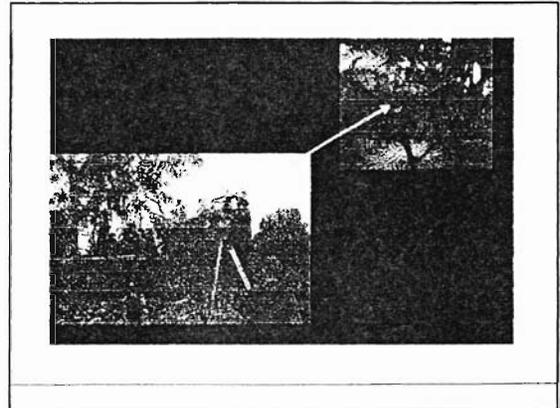
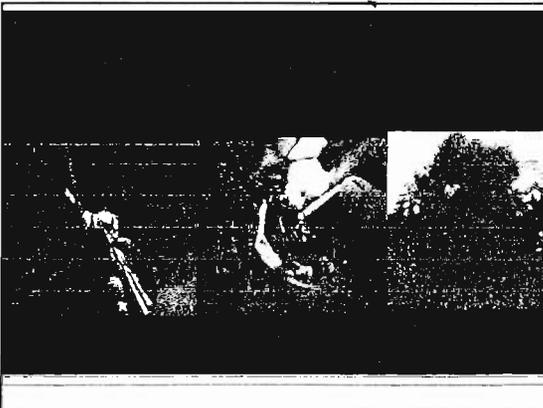
E. cladocalyx. Illapel

HÍBRIDOS INTRAESPECÍFICOS

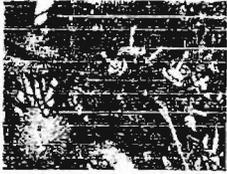


- C. Entre clones selectos de las mejores familias.

E. camaldulensis. Tantehue, A.M.



Polinización yemas inmaduras



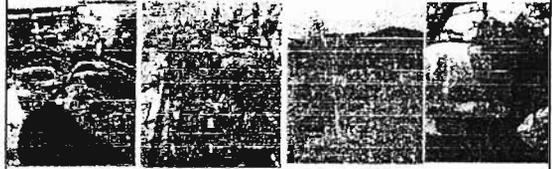
- Corte de estigma induce receptividad del estigma
- Exudación : lípidos, polisacáridos y proteínas
- Promueve adhesión del polen
- Sustrato para germinación del tubo polínico

tipo de yema floral	% cápsulas	sem/cap (*)	sem Germ %
receptivas	14.1	15.0	59.6
dehiscentes (ánthesis)	44.8	17.1	63.9
no dehiscentes (inmaduras)	50.0	28.7	80.0

(*) cápsulas colectas/cápsulas polinizadas

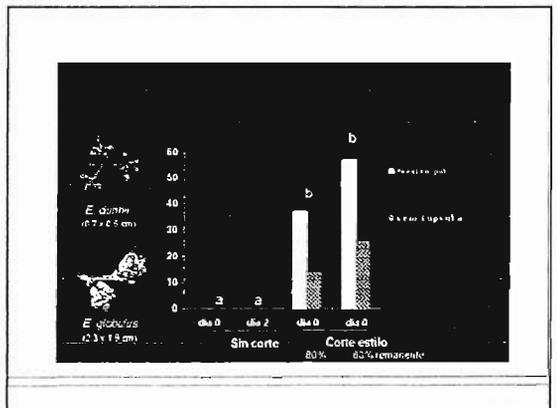
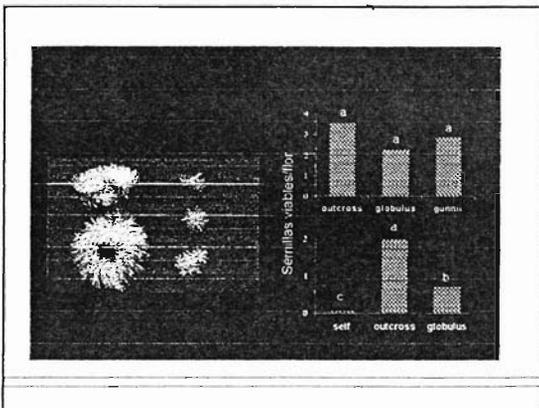
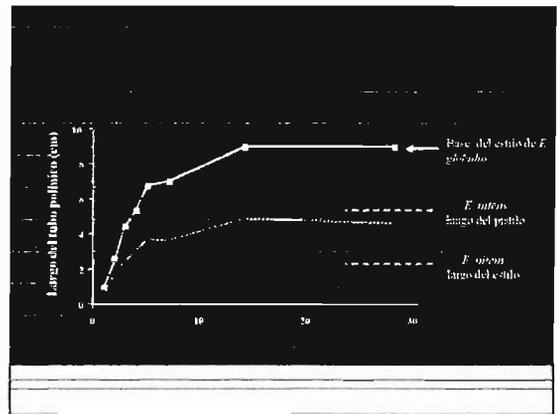
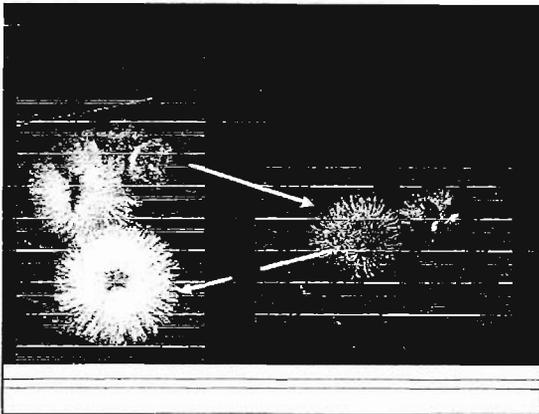
Trindade et al, 2001

Polinización Operacional Híbridos \$\$\$\$



Injección Injertos Huerto clonal Polinización

-Liberación endogamia +
-captura de combinaciones específicas + heterosis
\$\$\$\$????



Estrategias de Hibridación

- Ajustar largo de estilo con largo del tubo polinico
- Probar variabilidad genética de *E. globulus* (subespecies) en cruzamientos con especies de flores pequeñas
- Disminuir distancia taxonómica en las cruas híbridas
- Probar clones autoincompatibles
- Seleccionar madres compatibles en cruzamientos (bajo % de abortos)
- backcrossing

FELIZ NAVIDAD
Y
UN PRÓSPERO 2004