
POTENCIAL DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA EL MANEJO DE ENFERMEDADES EN *Eucalyptus globulus*

Gustavo Balmelli¹

Virginia Marroni²

Nora Altier³

Ramón García⁴

1 Ing. Agr. M.Sc., Programa Nacional Forestal. INIA Tacuarembó.

2 Ing. Agr. M.Sc., Programa Nacional Forestal. INIA Tacuarembó. (hasta 30/06/04)

3 Ing. Agr. M.Sc., Ph.D., Programa Nacional Plantas Forrajeras. INIA Las Brujas.

4 Aux. Inv. Programa Nacional Forestal. INIA Tacuarembó

Título: POTENCIAL DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA EL MANEJO DE ENFERMEDADES
EN *Eucalyptus globulus*

Autores:

*Gustavo Balmelli

* Virginia Marroni

* Nora Altier

* Ramón García

Serie Técnica Nº 143

© 2004, INIA

ISBN: 9974-38-192-4

Editado por la Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA.
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
Página Web: <http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Este libro no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. METODOLOGÍA	6
2.1. Población estudiada	6
2.2. Características evaluadas	10
2.3. Metodología de aislamiento e identificación de los agentes causales	11
2.4. Análisis de datos	11
3. RESULTADOS OBTENIDOS	12
3.1. Problemas sanitarios registrados	12
3.1.1. Enfermedades del fuste	12
3.1.1.1. Podredumbre blanca	12
3.1.1.2. Cancros	14
3.1.1.3. Cancros causados por <i>Coniothyrium</i>	16
3.1.1.4. Mancha violeta	17
3.1.2. Enfermedades foliares	18
3.1.2.1. Roya	19
3.1.2.2. Mancha causada por <i>Mycosphaerella</i>	20
3.1.2.3. Mancha causada por <i>Phaeophleospora</i>	21
3.1.2.4. Manchas causadas por otros hongos	22
3.1.3. Daños ocasionados por heladas	22
3.2. Evaluación productiva y sanitaria de diferentes fuentes de semilla	23
3.2.1. Comportamiento próximo a la edad de cosecha	23
3.2.2. Comportamiento en las primeras etapas de crecimiento	26
3.3. Parámetros genéticos	30
3.3.1. Heredabilidad para la manifestación de síntomas y para crecimiento	30
3.3.2. Interacción genotipo-ambiente	31
3.3.3. Correlaciones genéticas para susceptibilidad a diferentes enfermedades ..	32
3.3.4. Correlaciones genéticas entre susceptibilidad a diferentes enfermedades y velocidad de crecimiento	33
4. DISCUSIÓN	35
5. CONCLUSIONES	41
6. AGRADECIMIENTOS	41
7. BIBLIOGRAFIA	42

POTENCIAL DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA EL MANEJO DE ENFERMEDADES EN *Eucalyptus globulus*

1. INTRODUCCIÓN

Las características de la madera de *Eucalyptus globulus*, consideradas como excelentes para la producción de pulpa y papel, han llevado a que esta especie sea actualmente la de mayor área plantada en Uruguay, con más de 200 mil hectáreas (Echeverría, 2003). Sin embargo, su susceptibilidad a enfermedades y plagas provoca importantes pérdidas económicas, principalmente en las zonas norte y litoral oeste, constituyendo la principal limitante productiva de esta especie en dichas zonas.

Las principales enfermedades reportadas para *E. globulus* en Uruguay son las manchas foliares causadas por varias especies de *Mycosphaerella*, los canchros causados por *Botryosphaeria dothidea* (Wingfield, 1999) y por *Cytospora* spp. (Romero, 1996) y la podredumbre blanca causada por *Inocutis jamaicensis* (Bettucci, 2003). Es probable que la introducción de plagas y enfermedades, así como el incremento en la concentración de inóculo de hongos fitopatógenos, hayan acompañado el desarrollo de la especie en nuestro país. Es así que enfermedades antes ausentes, como es el caso del canchro causado por *Coniothyrium* (Wingfield, 1999) o la roya causada por el hongo biotrófico *Puccinia psidii* (Telechea, 2002) hoy se encuentran presentes en el país.

El mejoramiento genético como herramienta para aumentar la tolerancia a enfermedades y plagas en especies forestales es ampliamente reconocido a nivel mundial. La elección de una adecuada fuente de semilla es la estrategia más sencilla y de más bajo costo para mejorar el estado sanitario de una plantación (Eldridge *et al.*, 1994). Sin embargo, para lograr una mejora continua de la tolerancia a enfermedades y plagas deben

utilizarse otras estrategias de mejoramiento genético como la selección y clonación de individuos tolerantes o la selección y cruzamiento de genotipos resistentes. En todos los casos el éxito estará determinado principalmente por la variación genética en tolerancia a las diferentes enfermedades que exista en la población.

La falta de información local respecto a la importancia de las principales enfermedades y plagas y respecto a la magnitud de la variación genética en tolerancia a las mismas llevó al Programa Nacional Forestal del INIA a elaborar el proyecto "Desarrollo de una raza local de *Eucalyptus globulus* tolerante a las principales enfermedades y plagas". Dicho proyecto fue financiado por el Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT-MEC) y ejecutado entre Abril de 2003 y Junio de 2004. Los principales objetivos eran la identificación de las principales enfermedades y plagas; la evaluación genética de tolerancia a las mismas y la selección de los mejores progenitores del Plan de Mejoramiento Genético de *E. globulus* para la producción de semilla de mejor sanidad. Los resultados preliminares fueron presentados en el 1º Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus* (Balmelli *et al.*, 2003).

La presente publicación reporta los resultados finales obtenidos en el proyecto. En la primera parte se describe la población estudiada y la metodología utilizada, tanto a campo (cuantificación de síntomas) como en laboratorio (identificación de agentes causales) y oficina (análisis de la información). En la segunda parte se presentan los resultados obtenidos: enfermedades identificadas⁵, tolerancia relativa de diferentes fuentes de semilla y parámetros genéticos. En la última parte se discute en forma con-

⁵ Para el presente estudio se define enfermedad en su sentido amplio, es decir como cualquier desvío de las funciones fisiológicas normales de la planta, sea éste ocasionado por agentes bióticos o abióticos (Alfenas, *et al.*, 2004).

junta la información presentada previamente y se analiza la factibilidad de reducir los problemas sanitarios detectados, a través del mejoramiento genético.

2. METODOLOGÍA

2.1. Población estudiada

Se evaluaron 8 pruebas de progenies de primera generación (instaladas entre 1994 y

1995) y 3 pruebas de progenies de segunda generación (instaladas en 2002). En todos los casos son familias de polinización abierta, por lo que se trata de progenies de medios hermanos. La ubicación y características generales de las pruebas se presentan en el Cuadro 1, mientras que las Figuras 1 a 4 muestran una vista general de una de las pruebas de cada zona en el momento de la evaluación (año 2003).

Cuadro 1. Características generales de las pruebas de progenie evaluadas.

Prueba de Progenie	Año	Ubicación	Tipo de suelo	Número de familias
A35	1994	Tacuarembó	(7.2) Profundo Arenoso	70
A37	1994	Lavalleja	(2.11a) Superficial y textura pesada	75
A48	1995	Rivera	(7.31) Profundo Arenoso	58
A49	1995	Lavalleja	(2.12) Poco profundo y textura pesada	50
A50	1995	Soriano	(9.3) Profundidad y textura media	49
L51	1995	Lavalleja	(2.12) Poco profundo y textura pesada	87
L52	1995	Soriano	(9.3) Profundidad y textura media	87
L53	1995	Tacuarembó	(7.32) Profundo Arenoso	89
S99	2002	Rocha	(2.11a) Profundidad y textura media	230
S100	2002	Maldonado	(2.12) Profundidad y textura media	204
S101	2002	Lavalleja	(2.12) Poco profundo y textura media	190



Figura 1. Prueba A37 (Lavalleja) durante la evaluación, a los 9 años de edad.



Figura 2. Prueba A50 (Soriano) durante la evaluación, a los 8 años de edad.



Figura 3. Prueba L53 (Tacuarembó) durante la evaluación, a los 8 años de edad.



Figura 4. Prueba S99 (Rocha) durante la evaluación, a los 8 meses de edad.

Las pruebas de progenie de primera generación conforman tres grupos diferentes. En dos de dichos grupos (A35-A37 y A48-A49-A50) se evalúan familias de diferentes orígenes australianos (Cuadros 2 y 3) y en

el tercer grupo (L51-L52-L53) se evalúan familias de selecciones realizadas en plantaciones locales (Cuadro 4). El diseño experimental utilizado en todas las pruebas es de bloques completos al azar, con 6 repeticiones y

Cuadro 2. Lista de orígenes en evaluación en las Pruebas A35 y A37.

Código	Localidad de origen	Latitud	Longitud	Altitud	Nº de progenies
16846	Jeeralang-Yarram VIC	38.24	146.31	225	3-2
16405	12.1 k S Lorne PO VIC	38.36	143.54	200	1-1
17609	Wilson's Promontory VIC	39.08	146.25	60	6-4
18035	Flinders Island TAS	40.03	148.01	80	3-4
17799	Flinders Island TAS	40.06	148.00	15	7-4
16419	Cape Barren Island TAS	40.21	148.07	20	2-2
16417	N Cape Barren Island TAS	40.22	148.13	20	4-4
16858	North East Coast TAS	41.02	148.17	10	1-1
16857	Pepper Hill Road TAS	41.38	147.51	540	5-5
16412	Little Henty River TAS	41.56	145.12	10	0-1
18028	Lake Leake RD Swansea TAS	42.01	147.58	300	5-5
16475	SW of Jericho TAS	42.45	147.16	500	4-4
16470	Moogara TAS	42.47	146.55	500	15-19
18033	Lonnavule TAS	42.58	146.44	300	3-3
16478	Koonya Tasman Pen TAS	43.04	147.50	20	0-1
16860	Blue Gum Saddle TAS	43.13	146.55	250	3-4
18032	Geeveston Area TAS	43.13	146.54	360	5-6
16861	SSE of Geeveston TAS	43.16	146.57	180	1-2
16862	S Bruny Island TAS	43.21	147.18	210	2-2
Diano	Semilla local	-	-	-	0-?

Cuadro 3. Lista de orígenes en evaluación en las Pruebas A48, A49 y A50.

Código	Localidad de origen		Latitud	Longitud	Altitud	N° de progenies
16319	Jeeralang North	VIC	38.19	146.33	220	30-11-16
16402	5.4 k W Kennett River	VIC	38.39	143.48	250	1-0-1
16224	21.6 k SW Apollo	VIC	38.49	143.34	145	1-0-0
17608	King Island	TAS	39.56	143.52	40	10-1-3
16416	NE Cape Barren Is.	TAS	40.19	148.19	60	1-0-1
16415	NE Cape Barren Is.	TAS	40.32	148.19	60	1-1-1
16474	N of St. Mays	TAS	41.34	148.12	400	3-1-3
18029	MS 17 Road Cygnet CK	TAS	41.56	147.57	430	1-0-3
16410	Badgers Ck. Quarry Rd.	TAS	41.59	145.18	120	0-0-3
16863	SW Jericho	TAS	42.25	147.16	500	1-2-2
16473	NE New Norfolk	TAS	42.43	147.09	300	1-3-2
17696	Moogara	TAS	42.47	146.56	500	5-11-7
17695	SW of Hobart	TAS	42.58	147.14	250	0-2-1
18027	Snug Tiers Road	TAS	43.05	147.14	200	0-6-1
16476	S of Geeveston	TAS	43.12	146.54	250	1-4-1
18025	Middleton	TAS	43.13	147.15	5	0-1-1
16864	SSE of Geeveston	TAS	43.15	146.56	200	2-3-2
16471	NW of Dover	TAS	43.16	146.59	190	0-4-1

Cuadro 4. Lista de procedencias en evaluación en las Pruebas L51, L52 y L53.

Código	Sitio de selección (procedencias)	N° de progenies
B	Boncini. Metzen y Sena (Canelones)	56
DP	Doña Pancha. Metzen y Sena (Canelones)	12
D	Diano (Lavalleja)	16
P	Polonio. MGAP (Rocha)	4
IPU	IPUSA (Maldonado)	1

parcelas de 10 plantas en los dos primeros grupos y con 10 repeticiones y parcelas de 5 plantas en el último grupo.

Las pruebas de progenie de segunda generación (S99-S100-S101) evalúan materiales provenientes de cuatro fuentes de semilla: 30 familias de primera generación (25 de orígenes australianos y 5 de selecciones locales); 114 familias de segunda generación (población de cría); 27 introducciones de Chile (familias de 8 procedencias) y 55 fa-

milias de nuevas introducciones de Australia (Cuadro 5). Se evalúan también 5 lotes comerciales: 2 de Jeeralang (uno proporcionado por la empresa Redalco y otro por el Grupo Forestal), 2 de Forestal Monteáguila (Huertos Semilleros de Chivilingo y Chumulco) y 1 de semilla cosechada en el Parque Salus. El diseño experimental de estas pruebas es de bloques completos al azar, con 24 repeticiones y parcelas de 1 planta.

Cuadro 5. Lista de nuevos orígenes en evaluación en las Pruebas S99, S100 y S101.

Código	Localidad de origen		Latitud	Longitud	Altitud	Nº de progenies
18888	North of Yarram	VIC	38.22	146.41	480	8
18885	SW of Lorne	VIC	38.36	143.54	230	5
18886	SW of Lorne	VIC	38.37	143.54	230	7
18882	WSW of Kennett Rd.	VIC	38.40	143.50	130	4
18708	Otways SF & Yuulong	VIC	38.42	143.33	250	8
18881	Otways National Park	VIC	38.48	143.37	150	8
19475	Otways National Park	VIC	38.48	143.37	150	5
18725	Otways National Park	VIC	38.49	143.33	50	5
19161	Flinders Islands	TAS	40.07	148.01	90	5

2.2. Características evaluadas

La evaluación sanitaria de las pruebas de primera generación se realizó en invierno de 2003 y la evaluación de las pruebas de segunda generación en otoño y en primavera del mismo año. En cada prueba se identificaron inicialmente los diferentes tipos de síntomas, su prevalencia y nivel de daño. Posteriormente se definió una escala visual para cada tipo de síntoma. Para aquellos que estaban presentes en todos los árboles se utilizó una escala de 1 a 5 (1 = nivel de daño muy bajo, 2 = bajo, 3 = medio, 4 = alto, 5 = nivel de daño muy alto) y para los síntomas que estaban presentes en algunos árboles se utilizó una escala de 0 o 1 (ausencia o presencia de síntoma). La escala de 1 a 5 cuantifica la variable severidad: estimación del área de tejido vegetal afectado. La escala de 0 o 1 permite calcular la variable incidencia: número de árboles con presencia de síntomas sobre el total de árboles evaluados, expresado en porcentaje. Finalmente y con la utilización de dichas escalas se cuantificaron los síntomas en cada árbol.

Las pruebas de primera generación tenían al momento de la evaluación 8 o 9 años de edad, por lo que los síntomas correspondían a enfermedades del fuste. Los principales síntomas encontrados fueron:

- cancos (lesiones necróticas en la corteza, de tamaño y forma variable, a veces acompañados por exudación de resina).
- lesiones “tipo *Coniothyrium*” (manchas

necróticas pequeñas de bordes bien definidos).

- podredumbre “tipo *Inocutis*” (abultamiento del tronco alrededor de una herida en la cual generalmente queda expuesto el xilema).

La escala utilizada para cuantificar cancos fue de 1 a 5 en todas las pruebas, mientras que para cuantificar los síntomas de *Coniothyrium* se utilizó una escala de 1 a 5 en las pruebas A35 y A48 y de 0 o 1 en las demás pruebas. Los síntomas de *Inocutis* se cuantificaron con la escala de 0 o 1.

Además de los síntomas descriptos, en todas las pruebas se registró la presencia de brotes epicórmicos (rebrotos a diferentes alturas del fuste), utilizando una escala de 0 o 1.

Las pruebas de segunda generación tenían en la primera evaluación (otoño) 6 meses de edad, por lo que se cuantificó la severidad de enfermedades del follaje utilizando dos indicadores o síntomas: el nivel de manchas foliares y el nivel de defoliación. En ambos casos se utilizó una escala de 1 a 5, con puntos intermedios. En la segunda evaluación (primavera) las pruebas tenían 12 meses por lo que se evaluó la presencia de lesiones en la corteza (mancha violeta o cancro “tipo *Botryosphaeria*”), utilizando la escala de 0 o 1. Además, en la prueba S100 se evaluó el nivel de daño de heladas, utilizando una escala de 1 a 4.

Para la evaluación del crecimiento en las pruebas de primera generación se utilizó la última medición del DAP (diámetro a la altura del pecho), la cual se realizó a los 9 años en las pruebas A35 y A37, a los 8 años en las pruebas A50 y L52 y a los 7 años en las pruebas A48, A49, L51 y L53. En las pruebas de segunda generación se evaluó el crecimiento en altura a los 6 meses (prueba S100) o a los 12 meses (pruebas S99 y S101).

2.3. Metodología de aislamiento e identificación de los agentes causales

Al finalizar la evaluación en cada prueba de progenie, se procedió a la extracción de muestras de tejido con los diferentes síntomas, para la identificación de los agentes causales. Para la determinación de enfermedades foliares se extrajeron hojas y para la de enfermedades del fuste se cortaron árboles con presencia de los diferentes síntomas. En el laboratorio, para la identificación de los agentes causales de canchales en troncos se cortaron segmentos de tejido de los márgenes necróticos, los que fueron esterilizados superficialmente con 70% de etanol por 5 segundos flameados y colocados en placas de Petri conteniendo PDA (medio de cultivo para hongos, en base a papa, dextrosa y agar) e incubados a 24°C. Las colonias desarrolladas fueron repicadas a placas de Petri conteniendo PDA para su posterior identificación. Particularmente, para los síntomas "tipo *Coniothyrium*", las muestras se extrajeron de ramillas de año con presencia de lesiones. Para los síntomas de podredumbre "tipo *Inocutis*", la identificación se basó en el reconocimiento de los síntomas y signos característicos de este hongo en tronco. Algunos aislamientos se obtuvieron extrayendo tarugos de árboles afectados y colocándolos en medio de cultivo.

Para la identificación de los agentes causales de manchas foliares, se cortaron segmentos de hojas de 0.5 x 0.5 cm correspondientes a áreas afectadas. Los mismos

fueron desinfectados superficialmente con una solución de 0.5% de hipoclorito de sodio por 1 minuto, enjuagados con agua estéril y secados sobre papel de filtro estéril en cámara de flujo laminar. Los segmentos fueron colocados en placas de Petri conteniendo PDA (5 segmentos por placa) e incubados a 24°C. Las colonias desarrolladas fueron repicadas a placas de Petri conteniendo PDA, para su posterior identificación. Para las manchas foliares causadas por *Mycosphaerella* spp. se siguió la metodología propuesta por Crous (1998).

2.4. Análisis de datos

La información obtenida en la evaluación sanitaria y de crecimiento fue analizada a dos niveles. A un primer nivel se analizó el comportamiento de los diferentes orígenes o procedencias (con los promedios de las familias que componen cada lote) con el fin de conocer el comportamiento relativo de cada fuente de semilla desde el punto de vista sanitario y productivo. El segundo tipo de análisis se realizó a nivel de familia, para estimar parámetros genéticos (poblacionales e individuales) para las diferentes características evaluadas.

Los componentes de varianza utilizados para la estimación de parámetros genéticos fueron estimados mediante el Proc Varcomp (método REML) del SAS (1989). El modelo lineal utilizado para cada sitio incluyó términos para bloque, familia, bloque por familia y error. Para las pruebas de progenie de orígenes australianos no se incluyó un término para origen debido a que el número de familias por procedencia es muy variable (entre 30 y 1), pero se incluyó un término para grupos de orígenes geográficamente cercanos (efecto "zona") y el correspondiente término para la interacción bloque por zona.

En la estimación de las heredabilidades individuales y con el fin de corregir posibles desviaciones en la relación de medios hermanos se asumió un coeficiente de parentesco de 0.4 (Volker *et al.* 1990). De esta

forma la heredabilidad en cada sitio y los correspondientes errores estándar fueron estimados como:

$$h_i^2 = \frac{2.5(\sigma_f^2)}{\sigma_f^2 + \sigma_{bf}^2 + \sigma_e^2} \quad \text{y} \quad e.e.(h_i^2) = \sqrt{\frac{6.25 * \text{Var}(\sigma_f^2)}{(\sigma_f^2 + \sigma_{bf}^2 + \sigma_e^2)^2}}$$

donde σ_f^2 , σ_{bf}^2 y σ_e^2 son respectivamente los componentes de varianza para familia, interacción bloque por familia y error, mientras que $\text{Var}(\sigma_f^2)$ es la varianza del componente de varianza para familia.

Los valores de cría parentales (o valores genéticos) fueron estimados mediante la técnica de BLUP (mejor predictor lineal insesgado), utilizando el programa GAREML (Huber, 1993). Estos valores fueron utilizados para estimar las correlaciones genéticas entre diferentes características (entre diferentes síntomas o entre el crecimiento y determinado síntoma) y para estimar la correlación genética para determinada característica medida en dos sitios diferentes (correlación Tipo B), lo que es un indicador de la magnitud del efecto de interacción genotipo-ambiente.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Problemas sanitarios registrados

La evaluación de las pruebas de progenie permitió observar diversos problemas sanitarios, con mayor o menor grado de prevalencia y nivel de daño. Los principales síntomas y daños registrados fueron ocasionados por enfermedades a hongos y por heladas. Si bien se registró la presencia de insectos plaga (*Ctenarytaina eucalypti* y *Gonipterus* spp.), la magnitud de los daños ocasionados fue irrelevante, y no justificó su evaluación.

A continuación, se describen las principales enfermedades y hongos asociados a síntomas en el fuste y en las hojas de *E. globulus*, así como los daños causados por heladas, detectados durante este estudio.

3.1.1. Enfermedades del fuste

Las observaciones de daños en el fuste se correspondieron principalmente con síntomas de podredumbre de la madera y de canchales (lesiones necróticas en la corteza de tamaño y forma variable).

La mayoría de las especies causantes de podredumbre de la madera en *Eucalyptus* están asociadas a podredumbre blanca, causada por hongos de los géneros *Inocutis*, *Phellinus* y *Stereum*. Estos hongos pueden degradar tanto la lignina como otros componentes de la pared celular.

Así mismo, diversos géneros de hongos han sido reportados como agentes causales de canchales en *Eucalyptus*. Algunos actúan como patógenos de importancia, mientras otros actúan como oportunistas y sólo se constituyen en un riesgo asociados a la ocurrencia de condiciones de estrés para la planta.

3.1.1.1. Podredumbre blanca

Agente causal

Inocutis jamaicensis

Síntomas y signos

Los síntomas externos consisten en una deformación del tronco (abultamiento), en algunos casos asociado a la inserción de ramas que permanecen en el sitio afectado. Generalmente se observa discontinuidad de la corteza dejando xilema expuesto rodeado por márgenes de callus. En otros casos la corteza cubre la lesión completamente.

Los síntomas internos observados en corte axial consisten en una podredumbre y decoloración del xilema (Figura 5). En árboles afectados se pueden observar los cuerpos fructíferos del hongo, inicialmente de color amarillento y luego se tornan más oscuros (Figura 6). En condiciones de campo es común observar árboles caídos, quebrados en la zona afectada por el hongo (Figura 7).



Figura 5. Síntomas de podredumbre blanca en corte axial.



Figura 6. Fructificación de *Inocutis jamaicensis*



Figura 7. Arbol con podredumbre blanca, quebrado por el viento.

Importancia económica

En plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Uruguay, se han detectado valores de incidencia de 8-15% en la zona sureste y 5% en la zona oeste (Martínez *et al.*, 2000). Los valores de incidencia registrados durante este estudio se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Incidencia* de *Inocutis jamaicensis* en ensayos de *E. globulus* de INIA, relevados durante 2003.

Ensayo y Zona	Incidencia (%)
A35 - N	3.5
A37 - SE	13.1
A48 - N	3.8
A49 - SE	21.2
A50 - W	4.8
L51 - SE	22.7
L52 - W	11.9
L53 - N	9.2

*Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

La incidencia de podredumbre blanca fue relativamente baja en las zonas Norte (de 3.5 a 9.2 %) y Oeste (de 4.8 a 11.9 %) y bastante importante en la zona Sureste (de 13.1 a 22.7 %).

Si bien esta enfermedad no parece afectar el crecimiento (el diámetro promedio de los árboles con síntomas es prácticamente el mismo que el de los árboles sanos), según G. Algorta (com. pers.) la madera afectada se desmenuza en el chipeado por lo que no es aprovechable para la producción de pulpa. El síntoma externo de la enfermedad se presenta generalmente a una altura inferior a los 1.5 metros (rara vez a más de 2 metros) y la podredumbre generalmente avanza entre 0.5 y 1 metro hacia arriba y hacia abajo. Por tal motivo la primer troza de árboles afectados es generalmente dejada en el campo durante la cosecha.

A este tipo de pérdidas hay que sumar la ocasionada por el quebrado (por viento) de árboles afectados. Si bien este patrón de daño no es muy frecuente, cuando ocurre

provoca la pérdida total del árbol. Con valores de incidencia como los registrados durante este estudio (22%) o los registrados por Martínez *et al.* (2000) (15%), es posible que un volumen importante de madera se pierda por quebrado de árboles antes de completar el turno de corte.

3.1.1.2. Cancros

Agentes causales

La bibliografía cita diversos géneros de hongos asociados a este tipo de lesiones. Generalmente colonizan la corteza o corteza y cambium, pero tienen una capacidad limitada para invadir el tejido del xilema.

Las especies *Erythricium salmonicolor*, *Cryphonectria cubensis*, *Cytospora eucalypticola* (no encontradas en este estudio) son consideradas los agentes causales de cancos más importantes en *Eucalyptus* en países como Nueva Zelanda y Brasil (Alfenas *et al.*, 2004; Old and Davison, 2000).

Otras especies como *Coniothyrium zuluense* y *Botryosphaeria dothidea* también se reportan como agentes causales de

cancros en Sudáfrica (Smith *et al.*, 1994; Wingfield *et al.*, 1997). Las mismas fueron encontradas en el presente estudio, por lo que son discutidas más adelante en esta publicación.

Síntomas

Los cancos constituyen lesiones necróticas de la corteza y cambium de tamaño y forma variables, a veces acompañadas por la exudación de resina, pudiendo afectar ramas o tronco principal (Figuras 8, 9 y 10). Frente a la infección de patógenos, los árboles producen una serie de respuestas químicas o estructurales (producción de polifenoles, suberización) para defenderse del ataque. En condiciones de crecimiento ideales para la planta, estos mecanismos pueden ser suficientes para restringir o limitar la infección; sin embargo, en condiciones de estrés (ej. déficit hídrico), los mecanismos de defensa pueden resultar menos eficientes, ocurriendo un mayor número o mayor tamaño de cancos (Old and Davison, 2000). Por lo tanto, las condiciones de sitio son importantes en la interacción árbol-patógeno y la manifestación y magnitud de los cancos.



Figura 8. Arbol severamente afectado por cancos (centro) y árbol sano (derecha).



Figura 9. Arbol con cancos y rebrotes.



Figura 10. Formación de quino como respuesta a la infección.

Importancia económica

Los árboles afectados por canchros pueden sufrir quebrado del tallo principal y ramas secundarias, pérdida de crecimiento e incremento en la mortalidad (Old and Davison, 2000). Además, los arboles afectados por canchros son propensos a emitir brotes epicórmicos (rebrotos). Se han reportado daños severos en plantaciones de *Eucalyptus* en Nueva Zelanda, Sudáfrica y Brasil (Alfenas *et al.*, 2004).

Los valores de incidencia registrados durante este estudio se presentan en el Cuadro 7. El porcentaje de árboles que presentan severos síntomas de canchros es marcadamente mayor en las zonas Norte (entre 36 y 60 %) y Oeste (entre 40 y 53 %) que en la zona Sureste (entre 3 y 28 %).

Datos no publicados (F. Resquín, com. pers.) demuestran que la madera de árboles afectados por canchros tiene un menor rendimiento en pulpa y un mayor consumo de reactivos (mayor costo) que la de árboles sanos.

Si bien el efecto de los canchros sobre el crecimiento no es evidente (el diámetro pro-

Cuadro 7. Incidencia* de canchros con severidad igual o mayor a 3 (escala visual de 1 a 5**), en ensayos de *E. globulus* de INIA, relevados durante 2003.

Ensayo y Zona	Incidencia (%)
A35 - N	60.0
A37 - SE	28.2
A48 - N	36.4
A49 - SE	14.2
A50 - W	39.6
L51 - SE	3.3
L52 - W	47.7
L53 - N	53.2

* Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje. ** Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 5 toda la corteza afectada por canchros).

medio de árboles severamente afectados es similar al de árboles sanos), en árboles muy afectados es bastante común la presencia de una copa muy pequeña, ocurriendo ocasionalmente la muerte total o parcial de la misma, así como la emisión de rebrotos.

Durante este estudio se evaluó la presencia de rebrotos y se estudió la relación con la incidencia de canchros en el fuste (Cuadro

8). La frecuencia de rebrotes en la zona Sureste es bastante menor (entre 7 y 14 %) que en las zonas Norte (entre 19 y 57 %) y Oeste (entre 24 y 26 %). A su vez, la frecuencia de rebrotes en árboles severamente afectados por canchros fue superior al promedio en todos los ensayos, indicando que los canchros son, al menos en parte, responsables de la emisión de rebrotes.

Cuadro 8. Frecuencia de rebrotes para el total de árboles vivos y para el conjunto de árboles con nivel de daño de canchros igual o mayor a 3 (escala de severidad* de 1 a 5) en ensayos de *E. globulus* de INIA relevados durante 2003.

Ensayo y Zona	Árboles con rebrotes (%)	
	Vivos	Con canchros
A35 - N	46.8	51.5
A37 - SE	14.2	24.9
A48 - N	19.4	36.6
A49 - SE	12.3	26.0
A50 - W	24.5	42.7
L51 - SE	6.7	32.1
L52 - W	26.1	34.0
L53 - N	56.9	66.7

* Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 5 toda la corteza afectada por canchros).

3.1.1.3. Cancros causados por *Coniothyrium*

Agente causal
Coniothyrium zuluense

Síntomas

Los canchros causados por este hongo se producen anualmente. Los síntomas iniciales de *C. zuluense* se manifiestan en tejido verde y consisten en manchas necróticas pequeñas de bordes bien definidos (Figura 11). Dichas manchas evolucionan posteriormente a pequeños canchros en la corteza, de apariencia similar a las marcas dejadas por el granizo (Figura 12). En las áreas afectadas la corteza tiende a adherirse y resulta difícil de despegar, observándose también exudación de quino. De acuerdo a Wingfield *et al.* (1997) y Alfenas *et al.* (2004), en es-



Figura 11. Síntomas iniciales de *Coniothyrium zuluense*



Figura 12. Cancros de *Coniothyrium zuluense* en fuste.

pecies susceptibles estas lesiones pueden evolucionar a canchros de tamaño variable en el tronco principal. En caso de infecciones severas se puede observar la producción de brotes epicórmicos y muerte apical.

Importancia económica

Esta enfermedad es de relativamente reciente descubrimiento. Fue reportada por primera vez en Sudáfrica (Wingfield *et al.*, 1997) y se piensa que desde allí ha sido introducida a Sudamérica. En Argentina ha causado serios daños en plantaciones clonales de *E. grandis* (Wingfield, 1999).

En Uruguay, fue observada por primera vez en 1999: en *E. grandis* en los Departamentos de Rivera y Paysandú y en *E. globulus* en el Departamento de Durazno (Wingfield, 1999). Sin embargo en tal oportunidad, la identificación del agente causal sólo fue confirmada en *E. grandis*.

Durante este estudio se confirmó la ocurrencia de *Coniothyrium zuluense* en *E. globulus*, registrándose valores de incidencia muy importantes en las zonas Norte (entre 40 y 67 %) y Oeste (entre 40 y 64 %). Las pruebas de la zona Sureste fueron mucho menos afectadas por la enfermedad, presentando síntomas de menor severidad y una incidencia relativamente baja, entre 7 y 39 % (Cuadro 9).

Cuadro 9. Incidencia* de *Coniothyrium zuluense* en ensayos de *E. globulus* de INIA, relevados durante 2003.

Ensayo y Zona	Incidencia (%)
A35 - N	67.3
A37 - SE	7.1
A48 - N	60.0
A49 - SE	19.6
A50 - W	40.5
L51 - SE	38.6
L52 - W	64.0
L53 - N	40.0

*Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

Desde el punto de vista productivo la enfermedad no parece tener un efecto muy importante en *E. globulus*, por lo menos para la severidad con que se presenta hasta el momento. Los árboles con síntomas no difieren en crecimiento de los árboles sanos, ni presentan mayor porcentaje de rebrotes. Si bien la madera puede presentar pequeñas marcas de quino, las mismas no deberían afectar la producción de pulpa. Probablemente el efecto más importante de la enfermedad se da en infecciones severas, en las cuales la corteza se adhiere a la madera dificultando el descortezado.

3.1.1.4. Mancha violeta

Agente causal

Botryosphaeria dothidea

Síntomas

Dentro de los síntomas asociados con *B. dothidea* se destacan: muerte apical o "die back" en árboles jóvenes o adultos y canchros en el fuste (Smith *et al.*, 1994). También es posible observar canchros en ramas.

Durante este relevamiento, *B. dothidea* fue aislada de árboles adultos de *E. globulus* que presentaban muerte apical en Tacuarembó (Figura 13).



Figura 13. Árboles con muerte apical con infección de *Botryosphaeria dothidea*.

Este patógeno también fue aislado de la corteza de árboles jóvenes que presentaban manchas necróticas de color violáceo, principalmente en el fuste y en la base de las ramas, a veces provocando muerte de ramas y defoliación. En las áreas afectadas se observa frecuentemente rajado de la corteza, caída de ramas vivas y quebrado del fuste. Estos síntomas fueron observados en el Departamento de Rocha en árboles de menos de un año de edad (Figuras 14 y 15). Generalmente y a medida que la corteza se va suberizando, estas manchas evolucionan a canchros (Figura 16).

Importancia económica

B. dothidea es considerado como un pa-



Figura 14. Mancha violeta ocasionada por *Botryosphaeria dothidea*.



Figura 15. Quebrado de fuste en zona afectada por mancha violeta (*Botryosphaeria dothidea*).



Figura 16. Evolución de las manchas violetas a canchros.

18

tógeno oportunista, con limitada capacidad de invadir tejidos sanos (Alfenas *et al.*, 2004). En *Eucalyptus* se encuentra presente como endófito, es decir en infecciones latentes que sólo se activan para causar enfermedad cuando las plantas se encuentran bajo estrés.

La ocurrencia de canchros o muerte apical causados por *B. dothidea* ha sido asociada en nuestro país a algunos factores como: viento, heladas, condiciones adversas de suelo y ocurrencia de sequía.

Durante este estudio en la prueba S100, evaluada en primavera de 2003 (al año de edad), prácticamente la mitad de los árboles (47.8 %) presentaban síntomas de man-

cha violeta. Esta prueba sufrió importantes daños por helada en el primer invierno, factor que pudo haber contribuido en la alta incidencia de esta enfermedad.

3.1.2. Enfermedades foliares

Diversos géneros de hongos son comúnmente encontrados en hojas de *Eucalyptus*. Algunos actúan como saprófitos y se encuentran colonizando tejidos senescentes; otros se encuentran como endófitos en los tejidos foliares y no constituyen un riesgo como patógenos de importancia, mientras que ciertos hongos son capaces de infectar tejidos sanos y causar enfermedad. Entre las dificultades asociadas al estudio de los patógenos foliares de *Eucalyptus*, se debe

mencionar que algunos de los hongos presentes nunca han sido descritos. Por otra parte, manchas similares pueden estar asociadas a varios agentes causales o incluso de una mancha individual puede aislarse más de un hongo, dificultando la distinción entre síntoma y agente causal. Finalmente, las infecciones severas de manchas foliares pueden causar defoliación prematura, resultando en un daño indirecto a considerar.

Durante este estudio, en las pruebas S99 (Rocha) y S100 (Maldonado) se registraron enfermedades foliares con valores de severidad relativamente altos. El 75 y 92% de los árboles (para las pruebas S99 y S100, respectivamente) presentó niveles de daño de manchas foliares iguales o mayores a 2 (escala visual de 1 a 5).

A continuación se describen las principales enfermedades y hongos asociados a síntomas foliares en *E. globulus* detectados durante este estudio, principalmente en la evaluación de otoño de 2003, en árboles de 6 a 8 meses de edad.

3.1.2.1. Roya

Agente causal

Puccinia psidii

Síntomas y signos

En hojas jóvenes y brotes terminales se observan pústulas de color amarillo-anaranjado que luego evolucionan a un color amarronado. Las hojas y los brotes pueden aparecer deformados y arrollados (Figuras 17, 18 y 19). Las infecciones ocurren en tejido joven y las hojas son susceptibles hasta los 15 días de desarrollo; luego de este período son resistentes (Ferreira, 1983). Ocasiona pérdida de crecimiento durante los primeros años y en ataques severos puede causar la muerte de la planta.

Importancia económica

La roya es una de las enfermedades foliares más importantes y severas que afectan al *Eucalyptus*. Es una enfermedad con un alto potencial destructivo, particularmente en especies o clones muy susceptibles. Es además de importancia cuarentenaria en



Figura 17. Pústulas de *Puccinia psidii* en hojas.



Figura 18. Deformación de hojas y brotes causada por *Puccinia psidii*.



Figura 19. Muerte de ápices y evolución de las pústulas de roya a manchas foliares.

muchos países donde no se encuentra presente (Coutinho *et al.*, 1998; Alfenas *et al.*, 2004).

En Brasil en 1973, esta enfermedad provocó que 400.000 plantines de *E. grandis* fueran descartados para plantación y que entre 1973 y 1978 se produjeran grandes pérdidas a campo (Ferreira, 1983; Coutinho *et al.*, 1998).

Desde el punto de vista productivo esta enfermedad puede tener dos efectos. Uno directo, debido a la pérdida de crecimiento y, en infecciones severas, a la muerte de plantas y otro indirecto, debido al estrés ocasionado a la planta, lo que aumenta su predisposición al efecto de otros factores, tanto bióticos (ej. patógenos endófitos) como abióticos (ej. sequía o heladas).

Durante este estudio, la enfermedad fue observada en las pruebas S99 (Rocha) y S100 (Maldonado) con valores de frecuencia relativa altos. El 44 y 47% de las hojas muestreadas (para las pruebas S99 y S100,

respectivamente) presentó síntomas de roya, frente al 36 y 29% de hojas con síntomas de otras manchas foliares.

3.1.2.2. Mancha causada por *Mycosphaerella*

Agente causal

Mycosphaerella spp.

Hasta el momento, en Uruguay se han reportado las siguientes especies de *Mycosphaerella* en *E. globulus*: *M. marksii*, *M. walkeri* y *M. suberosa* (Wingfield, 1999). Durante este estudio se detectó la ocurrencia de *M. vespa*.

Síntomas y signos

Los síntomas varían de acuerdo a la especie de *Mycosphaerella* presente. Generalmente el hongo produce manchas de color castaño claro a marrón, angulares, circulares o irregulares (Figura 20). Los bordes pueden ser más oscuros que la mancha y variables en color. En las áreas afectadas se pueden observar los pseudotecios producidos por este hongo. En infecciones severas, algunas especies de *Mycosphaerella* pueden causar defoliación, pérdida de área foliar y muerte del brote apical (Figura 21).

Importancia económica

El género *Mycosphaerella* comprende más de 30 especies, capaces de causar síntomas foliares en hojas de *Eucalyptus* (Crous, 1998). Las enfermedades foliares



Figura 20. Manchas foliares causadas por *Mycosphaerella* spp.



Figura 21. Manchas foliares y defoliación causadas por *Mycosphaerella* spp.

causadas por este género son consideradas entre las más importantes en Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica. En Australia, *M. nubilosa* y *M. cryptica* han causado daños considerables en plantaciones, mientras que *M. cryptica* y *M. juvenis* han sido causantes de daños en Nueva Zelanda y Sudáfrica, respectivamente (Park *et al.*, 2000).

De forma similar que para la roya, las manchas foliares y posterior defoliación producidas por *Mycosphaerella* spp. pueden ocasionar por un lado pérdida de crecimiento (debido a la disminución del área foliar) y por otro estrés, predisponiendo a la planta al efecto de otros patógenos y/o de factores abióticos.

Durante este estudio, las manchas causadas por *Mycosphaerella* fueron observadas en las pruebas S99 (Rocha) y S100 (Maldonado) con menor frecuencia relativa que la roya. El 35 y 26% de las hojas muestreadas (para las pruebas S99 y S100, respectivamente) presentó síntomas de manchas causadas por *Mycosphaerella*. Cabe

destacar que en la prueba S99, junto con una mayor proporción de hojas afectadas, se registró un mayor nivel de defoliación respecto a la prueba S100, con valores medios de 2.85 y 2.38, respectivamente (escala visual de 1 a 5).

3.1.2.3. Mancha causada por *Phaeophleospora*

Agente causal

Phaeophleospora epicoccoides

Síntomas y signos

En hojas maduras, en ambos lados se producen manchas angulares delimitadas por las nervaduras y de color rojizo (Figura 22). Sobre las manchas se producen picnidios y es posible apreciar conidios exudados en cirros que dan afelpado color negro.



Figura 22. Manchas foliares causadas por *Phaeophleospora epicoccoides*

Importancia económica

Generalmente, *P. epicoccoides* infecta hojas maduras o senescentes o árboles bajo condiciones de estrés. Las hojas infectadas caen prematuramente y en caso de epidemias prolongadas la infección puede afectar a las hojas jóvenes. Ocurre en la mayoría de las regiones donde se planta *Eucalyptus*. En Brasil no es considerado un patógeno de importancia. Sin embargo, en Sudáfrica y Australia ha causado mortalidad en plantines y completa defoliación de árboles maduros (Alfenas *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2000).

En el presente estudio, *P. epicoccoides* fue aislada comúnmente de tejido foliar sintomático de hojas maduras, de todas las regiones muestreadas. Sin embargo, no se han realizado estudios que permitan determinar su importancia como patógeno de *Eucalyptus*.

3.1.2.4. Manchas causadas por otros hongos

De las muestras tomadas en los ensayos de *E. globulus* de INIA, *Cryptosporiopsis* spp. (Figura 23), *Sonderhenia* spp., *Harknesia* spp. y *Phyllosticta* spp. también fueron frecuentemente aislados de hojas con manchas. *Harknesia* y *Phyllosticta* son géneros de hongos asociados con infecciones endófitas, es decir que están presentes en el tejido sin causar síntomas.

Bettucci y Saravay (1993) encontraron que *H. hawaiiensis* es un endófito comúnmente asociado a hojas maduras de *E. globulus* en Uruguay. A pesar de que varias especies de este género se encuentran en *Eucalyptus*, no existe mucha información sobre su patogenicidad. No obstante, *H. hawaiiensis* es considerado un patógeno importante en Sudáfrica (Park *et al.*, 2000).

También fueron detectados otros hongos de géneros menos especializados como

Alternaria spp., *Pestalotiopsis* spp. y *Botrytis cinerea*, asociados a manchas foliares. En general, las infecciones por estos hongos ocurren en árboles que se encuentran bajo condiciones de estrés y no se consideran como patógenos de importancia en *Eucalyptus*.

3.1.3. Daños ocasionados por heladas

Factor causal

Temperatura del aire por debajo de 0°C.

Síntomas

El congelamiento del agua presente en los tejidos vegetales puede provocar daños a varios niveles, desde muerte de hojas y ramas hasta la muerte parcial o total del tallo (Figura 24). También se pueden producir rajaduras de la corteza (Figura 25).

Importancia económica

Si bien los daños son difíciles de cuantificar, las pérdidas económicas pueden ser muy importantes, como las ocurridas en el año 1997, cuando varios miles de hectáreas de plantaciones jóvenes de *Eucalyptus* fueron parcial o totalmente afectadas por heladas.

Los daños directos ocasionados por el frío (desde la muerte parcial del follaje y del fuste hasta la muerte total de la planta) resul-



Figura 23. Manchas foliares causadas por *Cryptosporiopsis* spp.



Figura 24. Vista general de plantación afectada por heladas.



Figura 25. Rajaduras en la corteza provocadas por el frío.

tan en un retraso en el crecimiento y en casos severos en una reducción de la sobrevivencia.

Además de los daños directos, las heladas ocasionan daños indirectos, debidos al estrés que sufre la planta por las bajas temperatura. Esto favorece la acción de patógenos endófitos y, así mismo, el daño de tejidos constituye una vía de entrada para otros patógenos externos.

La prueba S100 sufrió durante su primer invierno importantes daños por heladas. El 46 % de los árboles presentaban síntomas (al menos daño a nivel del follaje), mientras que el 15 % de los árboles presentó valores de daño igual o mayor a 3, con muerte de gran parte del follaje y parte del tallo (escala visual de 1 a 4).

3.2. Evaluación productiva y sanitaria de diferentes fuentes de semilla

3.2.1. Comportamiento próximo a la edad de cosecha

El comportamiento productivo y el estado sanitario de diferentes orígenes (zonas de Australia), así como el de diferentes procedencias locales, evaluados en tres ensayos instalados en el departamento de Lavalleja, se presenta en los Cuadros 10, 11 y 12.

En los Cuadros 10 y 11 se puede observar la importante variación existente entre los diferentes orígenes para todas las características evaluadas, tanto para las que determinan la productividad (como DAP y sobrevivencia), como para las que describen el estado sanitario (como el porcentaje de rebrotes y la presencia de síntomas de diferentes enfermedades). En contraste, en el Cuadro 12 se puede observar que la variación existente entre procedencias locales es bastante reducida para todas las características evaluadas. Esta primera observación es bastante lógica si se tiene en cuenta que el área de distribución natural del *E. globulus* (sur del estado de Victoria y Tasmania) presenta una gran diversidad ambiental, mientras que las procedencias locales son plantaciones comerciales establecidas en el Sur del país, que fueron elegidas por su buen comportamiento general, es decir que presentaban una buena adaptación local.

De la observación más detallada de los Cuadros 10 y 11 se puede deducir que no hay ningún origen que se destaque en todas las características, es decir no hay ningún origen que presente los mayores valores de crecimiento y sobrevivencia al mismo tiempo que una menor incidencia de todas las enfermedades. Sin embargo hay orígenes que combinan buena productividad con buena sanidad. Entre éstos, en el ensayo A37, se encuentran el origen 16405 (Lorne, al SW de Victoria); el 16858 (North East Coast, al NE de Tasmania) y el 16846 (Jeeralang-Yarram, al SE de Victoria). Mientras que en el ensayo A49, se encuentran el origen 16319 (Jeeralang North, al SE de Victoria) y el 17608 (King Island, en el Estrecho de Bass).

Cuadro 10. Diámetro medio, sobrevivencia, frecuencia de rebrotes y nivel de daño de enfermedades del fuste para los orígenes evaluados en la Prueba A37 (al noveno año de crecimiento).

Código de Origen	DAP al año 9 (cm)	Sobrevivencia al año 9 (%)	Rebrotes (%)	Severidad* Cancros (1 a 5)	Incidencia** <i>Coniothyrium</i> (%)	Incidencia** <i>Inocutis</i> (%)
16846	21.0	74	1.1	1.70	3.4	2.2
16405	25.2	83	2.0	2.20	2.0	2.0
17609	12.1	35	56.5	2.15	3.5	9.4
18035	19.7	64	3.2	2.07	10.4	8.4
17799	17.3	58	11.4	2.40	14.3	10.0
16419	18.9	78	3.2	1.77	3.2	8.5
16417	18.7	76	9.8	2.22	3.8	4.9
16858	23.3	82	4.1	1.90	2.0	0.0
16857	18.3	68	17.6	2.27	3.4	13.2
16412	20.1	88	3.8	2.24	17.0	7.5
18028	18.4	62	9.7	1.94	1.6	14.6
16475	17.5	67	5.6	1.69	0.6	11.2
16470	18.1	66	19.7	2.59	7.3	16.1
18033	19.2	71	14.1	2.28	11.7	9.4
16478	18.7	77	8.7	2.35	13.0	15.2
16860	19.0	66	12.0	2.54	13.3	26.6
18032	19.4	60	13.4	2.28	11.1	15.3
16861	17.7	47	26.8	2.21	16.1	26.8
16862	17.4	56	20.9	2.07	3.0	13.4
Diano (local)	20.1	67	20.0	2.30	2.5	27.5

* Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 5 toda la corteza afectada por cancos).

** Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

Cuadro 11. Diámetro medio, sobrevivencia, frecuencia de rebrotes y nivel de daño de enfermedades del fuste para los orígenes evaluados en la Prueba A49 (al octavo año de crecimiento).

Código de Origen	DAP al año 7 (cm)	Sobrevivencia al año 7 (%)	Rebrotes (%)	Severidad* Cancros (1 a 5)	Incidencia** <i>Coniothyrium</i> (%)	Incidencia** <i>Inocutis</i> (%)
16319	19.7	85.6	0.7	1.59	20.4	14.3
17608	20.3	76.7	6.5	1.98	13.0	19.6
16415	16.6	56.7	29.4	2.19	23.5	20.6
16474	18.0	46.7	28.6	1.89	0.0	3.6
16863	18.7	60.8	19.2	2.03	11.0	13.7
16473	17.8	67.8	7.4	1.78	10.7	13.9
17696	18.0	71.8	20.9	2.22	17.9	23.6
17695	18.6	69.2	21.7	2.58	16.9	21.7
18027	19.0	74.7	15.2	2.03	27.1	28.6
16476	19.8	65.0	9.6	2.08	20.5	27.6
18025	22.1	26.7	6.3	2.63	31.3	31.3
16864	19.4	85.0	9.8	2.05	20.9	26.1
16471	17.7	70.0	19.0	2.27	22.0	26.2

* Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 5 toda la corteza afectada por cancos).

** Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

Cuadro 12. Diámetro medio, sobrevivencia, frecuencia de rebrotes y nivel de daño de enfermedades del fuste para las procedencias evaluadas en la Prueba L51 (al octavo año de crecimiento).

Procedencia	DAP al año 7 (cm)	Sobrevivencia al año 7 (%)	Rebrotes (%)	Severidad* Cancros (1 a 5)	Incidencia** <i>Coniothyrium</i> (%)	Incidencia** <i>Inocutis</i> (%)
Boncini	17.9	56.1	6.8	1.78	38.5	23.1
C.Polonio	18.1	50.0	4.0	1.93	52.5	17.2
D.Pancha	17.3	56.4	5.4	1.80	37.5	27.4
Diano	17.0	57.3	7.7	1.82	37.1	19.6
IPUSA	16.3	50.0	7.7	1.88	30.8	23.1

* Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 5 toda la corteza afectada por canchros).

** Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

Todos estos orígenes se encuentran al Norte del área de distribución natural de la especie, que es la zona de latitud más cercana a la del Uruguay, por lo que podría pensarse en su mayor aptitud como fuente de semillas para plantaciones comerciales. En términos generales se podría decir que cuanto más al sur del área de distribución natural es el origen peor es su comportamiento en nuestras condiciones y por lo tanto menor su aptitud como fuente de semilla.

La semilla cosechada localmente por Diano, reconocida por su buen comportamiento productivo y utilizada como testigo local en el ensayo A37, presentó buen crecimiento y aceptable sobrevivencia, pero no se destacó por su buena sanidad; por el contrario, fue la fuente de semilla con mayor incidencia de podredumbre causada por *Inocutis*.

Si bien los diferentes ensayos no se deberían comparar entre sí, la Prueba L51 se instaló el mismo año y en el mismo establecimiento que la Prueba A49, por lo que los materiales evaluados en las mismas crecieron en ambientes muy similares. Por tal motivo y al menos para el comportamiento sanitario es bastante probable que las diferencias entre ambas fuentes de semilla se deban a diferencias genéticas. Comparando los Cuadros 11 y 12 se puede observar que las procedencias locales tienen en general menor porcentaje de rebrotes y menor valor

de severidad de canchros que los orígenes australianos, lo que demostraría el efecto de la adaptación local. Sin embargo no presentan menor porcentaje de árboles con podredumbre de *Inocutis* y por el contrario, presentan mayor frecuencia de síntomas de *Coniothyrium* que los orígenes australianos.

Desde el punto de vista del mejoramiento genético también es importante conocer la variación existente entre las diferentes progenies que componen cada origen o procedencia. A modo de ejemplo en el Cuadro 13 se presenta el rango de valores para cada característica (correspondientes a las mejores y peores progenies) en dos orígenes y una procedencia.

Tanto el origen 16470 (Moogara, del SE de Tasmania), como la procedencia Boncini, presentaron en sus respectivos ensayos un comportamiento cercano al promedio para casi todas las características evaluadas. Sin embargo como se puede observar en el Cuadro 13, en ambos casos las diferencias entre las progenies son muy grandes, tanto para el crecimiento y la sobrevivencia como para los síntomas de las diferentes enfermedades (Figura 26). A modo de ejemplo, en la procedencia Boncini existen progenies en las cuales ningún árbol presentó síntomas de *Inocutis*, mientras que en el extremo opuesto existen progenies con el 44 % de sus árboles afectados por este patógeno.

Cuadro 13. Rango de valores productivos y sanitarios presentados a nivel de progenies dentro de los orígenes 16470 (en ensayo A37), 16319 (en ensayo A49) y dentro de la procedencia Boncini (en ensayo L51). Columnas no comparables entre sí por tratarse de ensayos diferentes.

	16470 (19 fam)	16319 (11 fam)	Boncini (55 fam)
	Min y Max	Min y Max	Min y Max
DAP (cm)	13.1 y 22.1	18.5 y 20.5	14.4 y 20.9
Sobrevivencia (%)	36.7 y 90.0	81.7 y 90.0	34 y 84
Rebrotos (%)	5.6 y 50.0	0.0 y 4.1	0 y 33
Severidad* Cancros	2.01 y 3.46	1.38 y 1.75	1.42 y 2.23
Incidencia** <i>Coniothyrium</i> (%)	0.0 y 22.7	9.8 y 31.5	0 y 75
Incidencia** <i>Inocutis</i> (%)	2.6 y 29.7	6.0 y 30.8	0 y 44

* Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 5 toda la corteza afectada por canchros).

** Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

Estos resultados indican claramente que es posible seleccionar individuos superiores para cualquier característica de interés, pero también indican que incluso una intensa selección no es suficiente para garantizar un buen comportamiento productivo y sanitario, sino que es imprescindible la evaluación local y la posterior selección de los mejores genotipos.

como para los indicadores del estado sanitario. Como se dijo anteriormente, este origen presenta un muy buen comportamiento general, por lo que es una adecuada fuente de semilla para nuestras condiciones. La reducida variabilidad encontrada entre sus progenies confirma la aptitud como fuente de semilla ya que garantiza una plantación más homogénea.

En contraste con lo anteriormente mencionado, las diferencias entre las progenies del origen 16319 (Jeeralang North, del SE de Victoria), parecen ser bastante bajas, tanto para el crecimiento y la sobrevivencia

3.2.2. Comportamiento en las primeras etapas de crecimiento

El estado sanitario, la sobrevivencia y la altura al primer año de crecimiento para cinco grandes fuentes de semilla, evaluados en dos ensayos instalados en los Departamentos de Rocha y Maldonado, se presenta en el Cuadro 14.

Se puede observar que existen escasas diferencias entre las grandes fuentes de semilla evaluadas para los diferentes indicadores de estado sanitario y crecimiento temprano.

La fuente de semilla que reúne los mejores indicadores, es decir que presenta una mejor sanidad y un mayor crecimiento en las etapas iniciales, es la formada por nuevos orígenes australianos, pertenecientes al estado de Victoria.



Figura 26. Contraste en crecimiento y sobrevivencia en dos parcelas (líneas de 10 árboles) de diferentes familias del origen 16470 (Moogara), en la prueba A37 .

Cuadro 14. Evaluación de manchas foliares y defoliación (MF+D), mancha violeta, daños por helada, sobrevivencia y crecimiento temprano, para diferentes fuentes de semilla evaluadas en las Pruebas S99 y S100.

Fuente de semilla	Índice* MF+D (6 meses)	Incidencia** Mancha violeta (12 meses)	Severidad*** Daño Helada (12 meses)	Sobrevivencia (18 meses)	Altura (12 meses)
Back (30 familias)	5.0	46.8	1.94	87.8	3.5
Chile (27 familias)	5.3	51.8	2.03	75.8	3.4
Orígenes Victoria (55 familias)	4.8	38.5	1.86	89.8	3.8
2ª generación (114 familias)	5.5	53.8	1.98	72.8	3.5
Comercial (5 lotes)	5.1	49.3	2.05	82.3	3.6

* Índice MF+D: suma de valores de severidad (1 a 5) para manchas foliares y defoliación.

** Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

*** Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 4 gran parte del follaje y del tallo dañado).

La fuente de semilla Back, representada por familias de buen comportamiento productivo en la primera generación, presenta también buen comportamiento en edades tempranas.

Las familias de selecciones chilenas (Chile), presentan en nuestras condiciones un comportamiento general relativamente pobre.

La segunda generación, formada por familias de la Población de Cría del Plan de Mejoramiento de INIA, también presenta en promedio un comportamiento relativamente pobre. Sin embargo, como se analizará más adelante, esta fuente de semilla presenta una gran variabilidad para todas las características evaluadas.

En conjunto, los lotes de semilla comercial presentaron un comportamiento medio respecto a las demás fuentes de semilla.

Estos resultados confirman la aptitud del Estado de Victoria como fuente de semilla

para nuestras condiciones. Para analizar más en detalle dicha fuente de semilla se presentan en el Cuadro 15 los valores obtenidos en los indicadores evaluados para los diferentes orígenes de ese estado. Como marco de referencia se incluyen también en dicho cuadro los diferentes lotes de semilla comercial evaluados.

La información presentada en el Cuadro 15 indica que no hay ningún origen o lote de semilla comercial que se destaque por tener una menor incidencia de enfermedades y daño de heladas al mismo tiempo que una mayor sobrevivencia y crecimiento temprano. El origen 18888 (North of Yarram) fue el que presentó menores problemas foliares (menor valor de manchas más defoliación), el origen 16319 (Jeeralang North) presentó menor incidencia de mancha violeta y menores daños por heladas, el de mayor sobrevivencia fue el origen 18882 (Kennet River) y el de mayor crecimiento en altura fue el lote Jeeralang comercial, utilizado por la empresa Redalco.

Cuadro 15. Evaluación de manchas foliares y defoliación (MF+D), mancha violeta, daños por helada, sobrevivencia y crecimiento temprano, para diferentes orígenes del Estado de Victoria y para diferentes lotes comerciales en las Pruebas S99 y S100.

Zona de origen y Código	Índice* MF+D (6 meses)	Incidencia** Mancha violeta (12 meses)	Severidad*** Daño Helada (12 meses)	Sobrevivencia (18 meses)	Altura (12 meses)
Jeeralang North 16319	4.8	20.8	1.5	92.9	3.8
North of Yarram 18888	4.2	33.1	1.7	93.8	3.7
Lorne 18885	5.1	39.4	1.9	93.3	3.8
Lorne 18886	5.3	35.2	2.0	92.3	3.8
Kennet River 18882	4.7	21.4	1.8	94.8	3.9
Otways-Yuulong 18708	4.9	41.2	1.9	85.9	3.8
Otways 18881	5.0	36.7	1.8	88.0	4.0
Otways 19475	5.2	49.3	2.0	90.0	3.7
Otways 18725	4.5	44.5	1.8	88.3	3.9
Islas Flinders 19161	4.4	46.7	1.9	82.5	3.7
Lotes comerciales					
HS Chileno Chivilingo	5.1	35.0	2.1	79.2	3.4
HS Chileno Chumulco	5.4	57.1	2.4	87.5	3.5
Jeeralang (G. Forestal)	4.4	52.4	2.0	79.2	3.4
Jeeralang (Redalco)	5.0	36.8	1.7	83.3	4.1
Local (Parque Salus)	5.4	65.0	2.1	-	-

* Índice MF+D: suma de valores de severidad (1 a 5) para manchas foliares y defoliación.

**Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

*** Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 4 gran parte del follaje y del tallo dañado).

La elección de una fuente de semilla en base a una evaluación tan temprana es muy arriesgada ya que por el momento no se dispone de información que demuestre cual o cuales de las características evaluadas tiene un mayor efecto en la producción de madera a la edad de corte. Por el momento, una medida prudente es utilizar fuentes de semilla que presenten un buen comportamiento general, como los orígenes Jeeralang North y North of Yarram (ambos del SE de Victoria) o el origen Kennet River (del SW de Victoria).

Como se vio anteriormente, desde el punto de vista del mejoramiento genético es importante conocer la variación existente entre las diferentes progenies que componen cada fuente de semilla. En el Cuadro 16 se presenta el rango de valores para cada característica evaluada, es decir los valores

correspondientes a las mejores y peores progenies de cada fuente de semilla.

Como se puede observar en el Cuadro 16, dentro de cada fuente de semilla existen grandes diferencias entre progenies para todas las características evaluadas. A modo de ejemplo, dentro de las familias selectas de primera generación (Back) existen progenies en las que solamente un 10 % de sus árboles presentaban mancha violeta, mientras que en otras el 85 % de los árboles presentaron dichos síntomas. A pesar de que esta fuente de semilla corresponde a familias seleccionadas por su buen crecimiento, la variación en altura al año de edad también es muy amplia, existiendo familias en las que sus individuos alcanzan una altura promedio de 2 metros mientras que otras alcanzan los 4.1 metros.

Cuadro 16. Rango de valores para cada característica, presentados a nivel de progenies dentro de las diferentes fuentes de semilla evaluadas.

	Back	Chile	Ori. Victoria	2ª gen.
	Min y Max	Min y Max	Min y Max	Min y Max
Índice* MF+D (6 m)	3.7 y 6.4	4.5 y 6.6	3.3 y 6.7	3.9 y 7.8
Incidencia** Mancha Violeta (12 m)	10.0 y 85.0	15.8 y 81.0	14.3 y 75.0	13.0 y 90.9
Severidad*** Daño Helada (12 m)	1.3 y 3.2	1.6 y 2.4	1.3 y 2.6	1.3 y 3.0
Sobrevivencia (18 m)	70.8 y 100	33.3 y 100	70.8 y 100	20.8 y 100
Altura (12 m)	2.0 y 4.1	2.9 y 3.9	2.9 y 4.4	1.8 y 4.3

* Índice MF+D: suma de valores de severidad (1 a 5) para manchas foliares y defoliación.

**Incidencia: número de árboles afectados sobre el total de árboles vivos, expresado en porcentaje.

*** Severidad: cantidad de tejido afectado (1 muy bajo; 4 gran parte del follaje y del tallo dañado).

Los orígenes de Victoria que presentan relativamente poca variación y buenos valores en sobrevivencia y en crecimiento, presentan sin embargo una amplia variación en el comportamiento sanitario. Para cada una de las características evaluadas existen progenies de excelente sanidad (valores muy

bajos de manchas más defoliación, mancha violeta y daño de heladas) así como progenies de sanidad relativamente pobre (Figuras 27, 28 y 29). Estos resultados confirman que si bien la selección de materiales superiores es posible para cualquier característica de interés, la evaluación local y la



Figura 27. Diferencias en susceptibilidad a roya entre plantas de diferentes familias (parcelas de una planta), en la prueba S100.



Figura 28. Diferencias en defoliación entre plantas de diferentes familias (parcelas de una planta), en la prueba S99.



Figura 29. Diferencias en susceptibilidad a heladas entre plantas de diferentes familias (parcelas de una planta), en la prueba S100.

posterior selección son imprescindibles para garantizar un buen comportamiento productivo y sanitario.

3.3. Parámetros genéticos

3.3.1. Heredabilidad para la manifestación de síntomas y para crecimiento

La expresión de una característica depende del genotipo y del ambiente, siendo la heredabilidad una estimación de la magnitud relativa del control genético y el control ambiental. Cuanto mayor es el valor de heredabilidad (más cercano a 1) para determinada característica, mayor será el grado de control genético y por lo tanto mayor la probabilidad de éxito por selección. Las es-

timaciones de heredabilidad individual para las características evaluadas en las pruebas de progenie de primera generación se presentan en el Cuadro 17, mientras que para las características evaluadas en las pruebas de segunda generación se presentan en el Cuadro 18.

La heredabilidad para los diferentes síntomas de enfermedades del fuste presentó valores muy variables, desde muy bajos hasta moderadamente altos. En general los mayores valores de heredabilidad se dan para la presencia de canchros (entre 0.06 y 0.48) y los menores valores para la podredumbre causada por *Inocutis* (entre 0.02 y 0.09). Esto sugiere que la susceptibilidad a canchros en *E. globulus* presenta mayor control genético que la susceptibilidad a *Inocutis* y que por lo tanto es esperable una mayor respuesta (mayor ganancia genética) por selección.

Para los síntomas de enfermedades foliares la heredabilidad presentó valores menos variables, en general moderados a altos. La defoliación presenta los mayores valores de heredabilidad (entre 0.36 y 0.54), por lo que se podría esperar una buena respuesta por selección. Esta característica presenta a su vez como ventajas adicionales desde el punto de vista del mejoramiento que puede evaluarse en etapas tempranas (en este caso se evaluó a los 6 meses, durante el primer otoño) y que es relativamente fácil de evaluar.

Cuadro 17. Heredabilidad individual y errores estándar (entre paréntesis) para diferentes características evaluadas en las pruebas de progenie de primera generación (a los 8 y 9 años).

Prueba	Canchros	<i>Coniothyrium</i>	<i>Inocutis</i>	Rebrotos	DAP
A35	0.06 (0.05)	0.01 (0.02)	*	0.01 (0.02)	0.22 (0.05)
A37	0.48 (0.09)	*	0.05 (0.02)	0.14 (0.04)	0.68 (0.12)
A48	0.38 (0.10)	0.46 (0.12)	*	0.17 (0.05)	0.24 (0.07)
A49	0.37 (0.10)	*	0.09 (0.03)	0.17 (0.05)	0.19 (0.05)
A50	0.46 (0.12)	0.36 (0.10)	*	0.17 (0.08)	0.19 (0.06)
L51	0.17 (0.05)	0.08 (0.03)	0.07 (0.05)	*	0.16 (0.04)
L52	0.36 (0.07)	0.17 (0.04)	0.06 (0.02)	0.13 (0.03)	0.15 (0.04)
L53	0.16 (0.04)	0.11 (0.03)	0.02 (0.01)	0.08 (0.02)	0.07 (0.02)

* No se estimó por muy baja incidencia de síntomas

Cuadro 18. Heredabilidad individual en cada sitio y errores estándar (entre paréntesis) para diferentes características evaluadas en las pruebas de progenie de segunda generación (entre 6 y 12 meses de edad).

Prueba	Manchas foliares	Defoliación	Manchas + Defoliación	Mancha violeta	Daño Helada	Altura *
S99	0.44 (0.05)	0.54 (0.06)	0.52 (0.06)	-	-	0.36 (0.05)
S100	0.31 (0.04)	0.36 (0.05)	0.37 (0.05)	0.20 (0.03)	0.30 (0.04)	0.40 (0.05)
S101	0.17 (0.03)	0.37 (0.05)	0.32 (0.05)	-	-	0.17 (0.03)

* Altura evaluada a los 6 meses en la prueba S100 y a los 12 meses en las pruebas S99 y S101.

Sin embargo, la gran variación encontrada en la heredabilidad para la presencia de un mismo tipo de síntoma en diferentes sitios (como en el caso de *Coniothyrium*, cuyos valores variaron entre 0.01 y 0.46) da una idea de la dificultad de su estimación. Las estimaciones de heredabilidad para determinada característica sólo son útiles para la población estudiada, en los sitios estudiados y con los diseños experimentales utilizados. En el grupo de pruebas de progenie analizados hay 3 poblaciones diferentes (probablemente con diferentes características genéticas) evaluadas en 3 zonas diferentes, las cuales, como se vio anteriormente (punto 3.1), son bastante contrastantes en la incidencia y severidad con que se presentan las diferentes enfermedades.

A su vez, las posibilidades de selección para determinada característica no sólo dependerán del grado de control genético y ambiental sino también de la magnitud de la interacción genotipo-ambiente.

3.3.2. Interacción genotipo-ambiente

El cambio relativo de comportamiento de determinados genotipos en diferentes ambientes es lo que se denomina interacción genotipo-ambiente. La cuantificación de dicha interacción es fundamental desde el punto de vista del mejoramiento genético ya que permite predecir el efecto de la selección de una característica en un sitio para mejorarla en otros sitios.

La magnitud del efecto de interacción genotipo-ambiente se estimó a través de la correlación genética Tipo B, es decir a través de la correlación existente para una característica evaluada en dos ambientes diferentes. Los valores estimados en las pruebas de primera generación (utilizando pares de pruebas comparables) se presentan en el Cuadro 19 y los estimados en las pruebas de segunda generación en el Cuadro 20.

Las características evaluadas a edad adulta presentaron valores de correlación genética Tipo B moderadas a altas y en general dichos valores fueron mayores a los presentados por las características evaluadas a edad temprana. En otras palabras, la magnitud de la interacción genotipo-ambiente es relativamente baja para síntomas de enfermedades del fuste y relativamente alta en síntomas de enfermedades foliares.

En el Cuadro 19 se puede observar que si bien existen diferencias entre los valores de correlación Tipo B para los distintos grupos de pruebas, en general los síntomas de canchros y la frecuencia de rebrotes tienen valores relativamente altos (baja interacción genotipo-ambiente) mientras que los síntomas de Inocutis presentan valores bastante bajos (alta interacción genotipo-ambiente). Los síntomas de *Coniothyrium*, la sobrevivencia y el crecimiento en diámetro presentaron valores intermedios y relativamente variables.

Cuadro 19. Correlaciones genéticas Tipo B para las diferentes características evaluadas en pruebas de primera generación.

Correlación genética Tipo B	Cancros	<i>Coniothyrium</i>	<i>Inocutis</i>	Rebrotos	Sobrevivencia	DAP
A35-A37	0.76	-	-	0.47	0.69	0.76
A48-A49-A50 *	0.84	0.75	-	0.82	0.64	0.67
L51-L52-L53 *	0.40	0.19	0.14	0.40	0.25	0.34

* Promedio para todas las combinaciones de pares de pruebas.

Cuadro 20. Correlaciones genéticas Tipo B para las diferentes características evaluadas en pruebas de segunda generación.

Correlación genética Tipo B	Manchas foliares	Defoliación	Manchas + Defoliación	Sobrevivencia	Altura
S99-S100-S101	0.36	0.55	0.49	0.04	0.32

* Promedio para todas las combinaciones de pares de pruebas.

Para las características evaluadas en las primeras etapas de crecimiento, la defoliación presentó los mayores valores de correlación Tipo B mientras que la sobrevivencia presentó los valores más bajos. En otras palabras, la magnitud de la interacción genotipo-ambiente es relativamente baja para defoliación y bastante alta para la sobrevivencia temprana. En este último caso el elevado efecto de interacción genotipo-ambiente es difícil de explicar debido a la variedad de factores, tanto bióticos como abióticos, que pueden provocarlo.

3.3.3. Correlaciones genéticas para susceptibilidad a diferentes enfermedades

Las correlaciones genéticas expresan la relación existente entre el control genético para dos características y dependen de la cantidad de genes comunes a ambas. Su estimación es útil para conocer los efectos indirectos de la selección. Los valores de correlaciones genéticas entre diferentes características estimados en las pruebas de primera generación se presentan en el Cuadro 21 y los estimados en las pruebas de segunda generación en el Cuadro 22.

Los valores de correlaciones genéticas obtenidos entre diferentes síntomas, tanto

de enfermedades del fuste como foliares, fueron muy variables, desde 0 (características genéticamente independientes) hasta cercanos a 0.9 (características cuyo control genético está altamente relacionado), aunque en casi todos los casos los mismos fueron positivos.

Las características que presentaron los mayores valores de correlación genética fueron los síntomas de canchros con los síntomas de *Coniothyrium*, lo que indica que dichas características están estrechamente relacionadas desde el punto de vista genético. Esto significa por un lado que es factible realizar selección por ambas características simultáneamente y por otro que es posible seleccionar por menor susceptibilidad a una de ellas e indirectamente lograr una reducción en la susceptibilidad a la otra. Las correlaciones entre los síntomas de canchros y la frecuencia de rebrotos son asimismo bastante altas, aunque en este caso no se deba totalmente a una relación genética entre ambas características sino también a una relación de causa-efecto (como se vió en la sección 3.1.1.2, los canchros son una de las causas de la emisión de rebrotos).

Cuadro 21. Correlaciones genéticas entre las características evaluadas en pruebas de primera generación.

Correlación genética	A35	A37	A48	A49	A50	L51	L52	L53
Cancros x Coniothyrium	0.75	*	0.87	*	0.74	0.39	0.74	0.68
Cancros x Rebrotos	0.31	0.41	0.78	0.63	0.85	*	0.52	0.47
Cancros x Inocutis	*	0.27	*	0.22	*	0.19	0.30	0.13
Coniothyrium x Rebrotos	0.10	*	0.70	*	0.72	*	0.29	0.15
Coniothyrium x Inocutis	*	*	*	*	*	0.11	0.34	0.17
Rebrotos x Inocutis	*	0.22	*	-0.02	*	*	0.24	0.03

* No estimable por baja incidencia de uno de los síntomas.

Cuadro 22. Correlación genética entre las características evaluadas en pruebas de segunda generación.

Correlación genética	Prueba S99	Prueba S100	Prueba S101
Manchas foliares x Defoliación	0.72	0.57	0.45
MF+D* x Mancha violeta	-	0.41	-
MF+D* x Daño de helada	-	0.45	-
Mancha violeta x Daño de helada	-	0.67	-

* Índice MF+D: suma de valores de severidad (1 a 5) para manchas foliares y defoliación

Las correlaciones genéticas entre los síntomas de *Inocutis* y los síntomas de canchros, *Coniothyrium* o la presencia de rebrotos fueron en todos los casos bastante bajas, indicando que la susceptibilidad a esta enfermedad está controlada por genes diferentes y es por lo tanto prácticamente independiente de la susceptibilidad a otras.

Las correlaciones genéticas entre manchas foliares y defoliación, mancha violeta y daño de heladas presentaron valores relativamente altos (entre 0.41 y 0.72), lo que sugiere la posibilidad de realizar selección simultánea para dichas características y en definitiva la posibilidad de lograr una mejora del comportamiento sanitario.

3.3.4. Correlaciones genéticas entre susceptibilidad a diferentes enfermedades y velocidad de crecimiento

Para conocer el efecto que la selección por tolerancia a enfermedades puede tener en el crecimiento y en la productividad se estimaron las correlaciones genéticas entre diferentes síntomas, sobrevivencia y características de crecimiento (diámetro en pruebas adultas y altura en pruebas jóvenes), las cuales se presentan en los Cuadros 23 y 24.

Las correlaciones genéticas entre las características evaluadas a nivel del fuste y la sobrevivencia fueron en casi todos los

casos de signo negativo, aunque en general los valores fueron relativamente bajos. Esto significa que existe una tendencia a que las familias más susceptibles a enfermedades del fuste presenten menor sobrevivencia, aunque dicha relación no es tan evidente como podría pensarse.

Los valores de correlación genética entre las características evaluadas a nivel del fuste y el crecimiento en diámetro fueron aún más bajos y en algunos casos de signo positivo, lo que está indicando la inexistencia de una tendencia clara entre la susceptibilidad a enfermedades del fuste y el crecimiento.

La correlación genética entre la sobrevivencia y el crecimiento en diámetro presentó valores moderados pero en todos los casos los mismos fueron positivos, indicando una relación directa entre la adaptación al sitio y el crecimiento.

La frecuencia de rebrotes es la característica que presenta mayor consistencia y mayores valores de correlación (de signo negativo) tanto con sobrevivencia como con crecimiento en diámetro. En otras palabras, para mejorar la sobrevivencia y el crecimiento es más eficiente seleccionar por una menor frecuencia de rebrotes que por una menor incidencia de canchros o síntomas de *Coniothyrium* o *Inocutis*. A su vez, la presencia de rebrotes es una característica fácil de evaluar, lo que es una ventaja adicional desde el punto de vista de su incorporación como criterio de selección.

Los síntomas de manchas foliares y defoliación no presentaron relaciones genéticas claras con sobrevivencia ni con crecimiento en altura, observándose valores de correlaciones tanto positivas como negativas (entre -0.47 y 0.22).

Cuadro 23. Correlaciones genéticas entre las características evaluadas a nivel del fuste, sobrevivencia y crecimiento en diámetro.

Correlación genética	A35	A37	A48	A49	A50	L51	L52	L53
Canchros x Sobrevivencia	-0.24	-0.08	-0.67	-0.38	-0.52	0.16	-0.26	-0.10
<i>Coniothyrium</i> x Sobrevivencia	-0.13	*	-0.50	*	-0.36	-0.02	-0.19	-0.13
<i>Inocutis</i> x Sobrevivencia	*	-0.18	*	-0.10	*	0.02	-0.10	0.03
Rebrotes x Sobrevivencia	-0.37	-0.47	-0.80	-0.37	-0.55	*	-0.19	-0.22
Canchros x DAP	0.03	-0.07	-0.13	-0.27	-0.26	0.07	0.00	0.02
<i>Coniothyrium</i> x DAP	0.15	*	-0.06	*	-0.11	0.33	0.19	-0.03
<i>Inocutis</i> x DAP	*	-0.12	*	0.18	*	-0.07	0.03	0.07
Rebrotes x DAP	-0.22	-0.58	-0.30	-0.61	-0.41	*	-0.37	-0.12
Sobrevivencia x DAP	0.51	0.61	0.37	0.35	0.33	0.10	0.20	0.41

* No estimable por baja incidencia del síntoma.

Cuadro 24. Correlaciones genéticas entre indicadores de susceptibilidad a enfermedades foliares, sobrevivencia y crecimiento en altura.

Correlación genética	Prueba S99	Prueba S100	Prueba S101
MF+D* x Sobrevivencia	-0.27	-0.47	0.22
MF+D* x Altura	-0.30	-0.29	0.22
Mancha violeta x Sobrevivencia	-	-0.30	-
Mancha violeta x Altura	-	-0.53	-
Daño helada x Sobrevivencia	-	-0.49	-
Daño helada x Altura	-	-0.58	-

* Índice MF+D: suma de valores de severidad (1 a 5) para manchas foliares y defoliación

Si bien los síntomas de *Botryosphaeria* (mancha violeta) se cuantificaron en una sola prueba, las correlaciones genéticas con sobrevivencia y con crecimiento en altura son moderadas y de signo negativo, indicando al menos una tendencia a que la mayor susceptibilidad a esta enfermedad se encuentra asociada a una menor sobrevivencia y a un menor crecimiento temprano.

La correlación genética entre daño de heladas con sobrevivencia y con altura también presentó valores moderados y de signo negativo, es decir que en general las familias de una mayor susceptibilidad a heladas tienen menor sobrevivencia y menor crecimiento temprano.

4. DISCUSIÓN

La importancia económica para el sector forestal uruguayo de los problemas sanitarios de *E. globulus* aún no ha sido cuantificada, es decir no se conoce la magnitud de las pérdidas en cantidad y calidad de la madera provocadas por cada enfermedad. Existe sin embargo una opinión bastante generalizada de que los daños producidos por enfermedades son de gran importancia

y que los mismos se incrementarán a medida que aumente el área plantada. El proyecto desarrollado no pretendía dar respuesta a los problemas sanitarios que presenta *E. globulus* en nuestro país, sino generar información que permitiese describir la situación actual, contribuyendo en definitiva a definir prioridades para comenzar trabajos más específicos y de mayor profundidad.

Los principales problemas sanitarios detectados en los ensayos evaluados fueron enfermedades, no registrándose problemas de insectos. En árboles jóvenes se detectaron como principales problemas: manchas foliares (causadas por varios hongos, entre los cuales prevaleció *Mycosphaerella* spp.), roya (causada por *Puccinia psidii*), mancha violeta (causada por *Botryosphaeria dothidea*) y daños por helada. En árboles adultos los principales problemas sanitarios detectados fueron: podredumbre blanca (causada por *Inocutis jamaicensis*), canchros en la corteza (causados por varios hongos) y pequeños canchros causados por *Coniothyrium zuluense*.

En general la incidencia de enfermedades en árboles adultos, así como la frecuencia de rebrotes, fue bastante mayor en las

zonas Norte y litoral Oeste que en la zona Sureste, lo que confirma la mejor aptitud de esta última zona para la producción de *E. globulus*. Sin embargo, en la zona Sureste fue donde se registró la mayor incidencia de podredumbre blanca (en dos de las pruebas evaluadas en esta zona la enfermedad afectó a más del 20 % de los árboles).

Como se dijo anteriormente, no se conocen los daños ocasionados a nivel comercial por cada uno de los problemas identificados, pero si asumimos que cada uno de ellos es, o puede ser en el futuro, de importancia económica, nos debemos preguntar: ¿cuáles son las alternativas de manejo de cada enfermedad? Existen diferentes estrategias de control, algunas tendientes a impedir la entrada de un patógeno al establecimiento (exclusión), otras tendientes a eliminar el inóculo de patógenos ya establecidos (erradicación) y otras orientadas a la protección (por ejemplo la aplicación de fungicidas). Sin embargo, el control de una enfermedad forestal es prácticamente imposible, siendo más factible la reducción de la incidencia y/o de la severidad de la misma. En este sentido, el mejoramiento genético es una herramienta ampliamente utilizada para aumentar la tolerancia a enfermedades y en definitiva para reducir su incidencia y severidad a través de la utilización de genotipos más tolerantes.

El éxito del mejoramiento genético como forma de reducir los problemas sanitarios depende principalmente de la existencia de variación genética para tolerancia a dichos problemas. Como se vio en la sección de resultados, para todos los problemas identificados se encontró variación en susceptibilidad a varios niveles: diferencias entre fuentes de semilla, diferencias entre orígenes y procedencias y diferencias entre familias. Por lo tanto, en primera instancia puede afirmarse que mediante selección es factible mejorar la tolerancia a los problemas sanitarios identificados.

Sin embargo, la eficiencia en la selección depende de la capacidad para identificar la variación existente, para lo cual se debe realizar una buena evaluación. Para susceptibilidad a enfermedades, una buena evaluación significa la cuantificación de daños en un gran número de genotipos expuestos a condiciones severas. En este proyecto la evaluación de problemas sanitarios se realizó en condiciones de campo, lo cual no asegura la presencia de todas las enfermedades y no asegura que las mismas tengan la severidad necesaria para que se manifiesten daños cuantificables. En otras palabras, si bien la presencia de síntomas de determinada enfermedad evidencia cierto grado de susceptibilidad a la misma, la ausencia de síntomas se puede deber tanto a tolerancia como a escape a la misma, debido a su ausencia. La única forma de asegurar una correcta evaluación y en definitiva una eficiente selección es mediante la inoculación artificial de los agentes causales de las enfermedades cuya susceptibilidad se pretende evaluar⁶.

Si bien es posible utilizar la variación observada en susceptibilidad a los diferentes problemas identificados, la capacidad para aprovechar dicha variación (potencial de mejora) depende de la utilización de estrategias de mejoramiento adecuadas. A su vez, para determinar cual es la estrategia más adecuada para cada problema se requiere información sobre el control genético (conocer por ejemplo la heredabilidad de la característica a mejorar, la magnitud de la interacción genotipo-ambiente o la correlación genética con otras características de interés) y considerar las características reproductivas de la especie (precocidad sexual, facilidad de realizar cruzamientos controlados, facilidad de multiplicación vegetativa).

Aunque las mismas no son excluyentes, se pueden mencionar tres estrategias generales diferentes: la elección de una buena

⁶ Por tal motivo se ha presentado ante el PDT un nuevo proyecto titulado "Desarrollo de tests estándar de inoculación artificial para la caracterización sanitaria de germoplasma de *Eucalyptus globulus*".

fuelle de semilla, la selección y clonación de individuos tolerantes y la selección recurrente (selección y cruzamiento de genotipos tolerantes). Cada una de ellas difiere en cuanto a simplicidad, recursos requeridos, tiempo necesario para obtener material mejorado, etc. En tal sentido, y asumiendo que cada uno de los problemas detectados es grave y debe ser manejado, se discutirá a continuación el potencial de las diferentes estrategias mencionadas para mejorar la tolerancia a los mismos.

Elección de la fuente de semilla. Esta estrategia depende de la existencia de diferencias entre fuentes de semilla para las características a mejorar. En este estudio, para todos los problemas sanitarios registrados se encontraron diferencias muy grandes entre orígenes, procedencias o fuentes de semilla comercial. Por lo tanto, la elección y utilización de una fuente de semilla adecuada constituye una clara oportunidad para obtener, de forma inmediata, importantes mejoras en la tolerancia a cada uno de los problemas identificados.

La información generada en el proyecto le permite al productor forestal utilizar esta estrategia en forma inmediata y prácticamente sin costo. Sin embargo su aplicación, es decir la elección de una fuente de semilla para ser utilizada a nivel comercial, presenta algunas dificultades. La primera se relaciona con el hecho de que no existe una fuente de semilla que presente mayor tolerancia a todos los problemas sanitarios. Por lo tanto el productor deberá definir cual o cuales considera que son los problemas más importantes y elegir la fuente de semilla más adecuada. Alternativamente, y en caso de duda sobre la importancia actual o futura de los diferentes problemas, puede elegir una fuente de semilla que presente relativamente buen comportamiento general. Los resultados indican que los orígenes de la zona Norte del área de distribución de la especie (Estado de Victoria) tienen en general buen comportamiento sanitario y productivo, por lo que dicha zona puede considerarse de

buen aptitud como fuente de semilla para plantaciones comerciales.

Sin embargo, la importación de semillas es una dificultad en sí misma. Aún dejando de lado los aspectos operativos, siempre existe la incertidumbre en cuanto a su disponibilidad (principalmente en volúmenes comerciales) y en cuanto a la correspondencia entre el origen de la semilla solicitada y el origen de la semilla obtenida. A modo de ejemplo, aún para el origen Jeeralang que en todos los ensayos ha presentado muy buen comportamiento, los dos lotes de semilla comercial evaluados tuvieron diferencias relativamente importantes en susceptibilidad a manchas foliares y defoliación, mancha violeta y daños por helada (Cuadro 15).

Finalmente, aún resolviendo las dificultades descritas y asumiendo los riesgos mencionados, la elección de la fuente de semilla presenta la limitante de que es aplicable una única vez, es decir que no permite una mejora continua en las características a mejorar.

Selección y clonación de individuos tolerantes. Esta estrategia depende de tres factores: la existencia de diferencias de origen genético entre individuos para las características a mejorar, la posibilidad de clonar los individuos seleccionados y la evaluación de los clones.

Como se vio en la sección de resultados, salvo para la podredumbre blanca, la heredabilidad de los diferentes problemas sanitarios registrados fue moderada, por lo que al menos una parte de las diferencias entre individuos es de origen genético. Esto indica que es posible seleccionar individuos genéticamente superiores, es decir individuos con mayor tolerancia genética a las diferentes enfermedades identificadas.

El segundo factor que determina el éxito de esta estrategia es la posibilidad de clonar

los individuos seleccionados. Si bien existen diferentes métodos de clonación (micropropagación, estacas a partir de rebrotes, injertos), la viabilidad operativa de esta estrategia estará determinada por la eficiencia con que se logren multiplicar los individuos seleccionados. En el caso de *E. globulus* el porcentaje de árboles adultos que se logra clonar mediante enraizamiento de estacas es relativamente bajo, por lo cual se pierde un porcentaje importante de los árboles seleccionados. Más aún, para que un clon se pueda utilizar en forma operativa, el mismo debe tener una alta tasa de multiplicación (porcentaje de enraizamiento superior al 50 %). En el caso de *E. globulus* el porcentaje de árboles que logran esos niveles de enraizamiento generalmente no supera el 2 %, es decir que por cada 100 árboles seleccionados se lograrán en promedio solamente 2 clones con posibilidades de utilización a nivel comercial.

Aún cuando se seleccione un gran número de árboles sin síntomas de enfermedades y se logre un número aceptable de clones, no se tiene certeza de que los mismos sean tolerantes a las diferentes enfermedades. Cuando la selección de individuos se realiza en una plantación comercial, la misma se basa solamente en el fenotipo. Para características con alta heredabilidad, como por ejemplo la susceptibilidad a manchas foliares, defoliación y canchales, la probabilidad de elegir un individuo genéticamente tolerante a través de su fenotipo es alta. Lo contrario ocurre para características de baja heredabilidad y para características binomiales (vivo o muerto, presencia o ausencia de enfermedad), como por ejemplo la susceptibilidad a podredumbre blanca. En definitiva, si bien se pueden seleccionar individuos que no presenten síntomas de enfermedades, la única forma de determinar si dichos individuos son tolerantes, o si por el contrario y por diferentes motivos escaparon a las mismas, es mediante la inoculación artificial y posterior evaluación de la reacción (dependiendo de la edad de selección y del tipo de síntoma la inoculación se puede realizar en los árboles se-

leccionados o, luego de su clonación, en un test clonal).

Resolviendo las dificultades descritas, esta estrategia tiene un gran potencial para reducir, en un plazo relativamente corto, los diferentes problemas sanitarios que presenta *E. globulus*. Sin embargo, a mediano y largo plazo esta estrategia depende de la reproducción sexual para mantener (o aumentar) la variabilidad genética, factor indispensable para continuar seleccionando individuos.

Selección recurrente. Consiste en la evaluación, selección y recombinación (cruzamiento) de los genotipos seleccionados por las características de interés durante varias generaciones. El éxito de esta estrategia depende principalmente de la existencia de variabilidad genética y de la heredabilidad de las características a mejorar. A su vez, el potencial de mejora dependerá de factores como: la rigurosidad con que se evalúen los progenitores, la correcta elección de las características a mejorar, la intensidad de selección y el intervalo entre generaciones.

Como se señaló anteriormente, la población estudiada presenta importante variación en susceptibilidad a todos los problemas sanitarios registrados y salvo para la podredumbre blanca, la heredabilidad estimada presentó valores aceptables. En otras palabras, la incidencia o severidad de cada una de las enfermedades registradas puede reducirse mediante la selección y recombinación de genotipos tolerantes.

La rigurosidad en la evaluación es indispensable para la correcta identificación de los progenitores más tolerantes ya que los mismos serán seleccionados tanto para producir semilla comercial como para producir, a través de su recombinación, la siguiente generación de mejora. El valor genético de cada progenitor se estima en base al comportamiento de su descendencia en ensayos (pruebas de progenie) establecidos en

condiciones lo más cercanamente posible a las condiciones reales de producción. Si bien la evaluación de enfermedades en pruebas de campo es sencilla y rápida, la misma presenta dificultades relacionadas con la aleatoriedad con que se desarrollan las enfermedades cuya tolerancia se quiere evaluar. Esta dificultad se ve más claramente en aquellas enfermedades cuya evaluación es de tipo binomial (enfermo o sano), donde la ausencia de síntoma no implica tolerancia a la enfermedad. En este sentido, la única forma de discriminar si la ausencia de síntomas de una enfermedad se debe a tolerancia o a escape a la misma es mediante inoculación artificial.

La correcta elección de las características a mejorar es fundamental ya que cuanto mayor sea el número de características a seleccionar menor será la intensidad de selección y por tanto menor la ganancia a obtener en cada una de ellas. Por lo tanto, la elección de las características a mejorar se debería basar en la importancia económica, lo cual aún resta por conocer en el caso de las enfermedades que afectan a *E. globulus*. Además, se debería considerar la relación existente entre el control genético de las enfermedades a mejorar. Los resultados presentados en la sección 3.3.3 indican que algunas enfermedades, como canchros y *Coniothyrium*, presentan correlaciones genéticas relativamente altas, por lo que es factible realizar selección por ambas características simultáneamente o seleccionar por menor susceptibilidad a una de ellas e indirectamente lograr una reducción en la susceptibilidad a la otra. Otras enfermedades, como la podredumbre blanca y los síntomas de canchros, presentan correlaciones genéticas muy bajas (la susceptibilidad a las mismas es prácticamente independiente). En este caso, si bien la selección simultánea por ambas características es posible, la misma reducirá la intensidad de selección en cada una de ellas.

Aún cuando se determinase la importancia económica de las diferentes enfermedada-

des y se decidiese mejorar únicamente por la enfermedad de mayor importancia relativa, la relación existente entre dicha enfermedad y otras características de importancia económica, como la sobrevivencia o el crecimiento, debe recibir especial atención. Los resultados presentados en la sección 3.3.4 indican que la susceptibilidad a las enfermedades del fuste es prácticamente independiente de la sobrevivencia y del crecimiento en diámetro (correlaciones genéticas muy bajas). La frecuencia de rebrotes es la característica que presenta mayores valores de correlación (de signo negativo) tanto con sobrevivencia como con crecimiento en diámetro. En otras palabras, si se selecciona por tolerancia a canchros o a podredumbre blanca no se corre el riesgo de afectar negativamente el crecimiento, mientras que si se selecciona por ausencia de rebrotes se lograría indirectamente una mejora del crecimiento.

En general, los genotipos más productivos presentan mejor sanidad; sin embargo, es muy difícil determinar si la mayor productividad se debe a una mejor sanidad o si ocurre lo inverso, es decir que la menor incidencia de enfermedades se debe al buen vigor y por lo tanto al menor estrés. Entender cual es la causa y cual el efecto es de importancia al momento de la definición de los criterios de selección. Si una buena sobrevivencia y un buen crecimiento (es decir una buena adaptación) es lo que determina una buena sanidad, entonces los criterios de selección deben ser directos, es decir se debe seleccionar directamente por sobrevivencia y crecimiento. Si por el contrario la productividad está dada principalmente por una buena sanidad entonces la selección debe ser indirecta, es decir se debe utilizar como criterio de selección la tolerancia a enfermedades.

El intervalo entre generaciones es un factor importante en un programa de mejora basado en selección recurrente ya que en buena medida determina las ganancias genéticas por unidad de tiempo. El intervalo

generacional dependerá de la edad a la que se puede seleccionar (lo que para tolerancia a enfermedades depende del tipo de síntoma) y de la precocidad sexual de la especie. Las enfermedades que afectan el fuste son las que requieren mayor tiempo de evaluación, siendo el caso extremo el de la podredumbre blanca, cuyos síntomas difícilmente se manifiestan en árboles de menos de cuatro o cinco años de edad. Sin embargo, dado que *E. globulus* comúnmente comienza a florecer recién al cuarto o quinto año, el intervalo entre generaciones estará limitado por la precocidad sexual.

Cualquiera sea la estrategia de mejoramiento utilizada, la magnitud de la interacción genotipo-ambiente es de gran importancia. Una baja interacción entre genotipos y ambientes implica que de realizarse selección por tolerancia a determinada enfermedad, el comportamiento de los materiales seleccionados será similar en diferentes ambientes. En cambio, si la interacción es alta, los genotipos deberán evaluarse en diferentes ambientes, lo cual aumenta los costos de evaluación. La información presentada en la sección 3.3.2 indica que la magnitud de la interacción genotipo-ambiente es relativamente baja para síntomas de enfermedades del fuste y relativamente alta para síntomas de enfer-

medades foliares. En otras palabras, la selección por tolerancia a enfermedades foliares exige la evaluación de los genotipos en un mayor número de sitios que la selección por tolerancia a enfermedades del fuste. Si bien la interacción genotipo-ambiente puede ser aprovechada (por ejemplo utilizando genotipos tolerantes al frío en sitios con mayor riesgo de heladas), para esto se requiere una correcta caracterización de cada genotipo en cada sitio. Nuevamente, la única forma de garantizar la incidencia de cada enfermedad en los diferentes sitios en evaluación es mediante la utilización de inoculación artificial.

El Plan de Mejoramiento Genético de *E. globulus* que lleva adelante el Programa Nacional Forestal del INIA⁷ desde 1993, se basa en la selección recurrente. En su primer generación el principal criterio de selección fue el aumento de la productividad (volumen de madera por hectárea), lo que implica tanto el aumento de la sobrevivencia como el aumento en la velocidad de crecimiento. Al seleccionar por sobrevivencia se espera una mayor adaptación a factores ambientales extremos, tanto bióticos como abióticos, y al seleccionar por velocidad de crecimiento (y por lo tanto por vigor) se espera una menor predisposición al ataque de patógenos endófitos. En este sentido, las



Figura 30. Tercer raleo genético del Huerto Semillero de primera generación (primera selección por comportamiento sanitario).



Figura 31. Primer raleo genético del Huerto Semillero de segunda generación, por comportamiento sanitario.

⁷ La descripción detallada de dicho plan puede consultarse en la Serie Actividades de Difusión de INIA N° 289.

dos primeras selecciones (raleos genéticos) del Huerto Semillero de primera generación fueron realizadas en base al valor genético de los progenitores en producción por hectárea al tercer y quinto año, respectivamente.

Si bien se espera que esta estrategia conduzca a una mejora en la sanidad general, la misma no garantiza una mayor tolerancia a enfermedades. Esto explicaría la ausencia de mejoras en el comportamiento sanitario de las familias de segunda generación (Cuadro 14). Por tal motivo, el tercer raleo genético (realizado en 2004, Figura 30) se basó en el comportamiento sanitario, eliminando aquellas familias e individuos con marcada susceptibilidad a alguna de las enfermedades registradas durante este estudio. Para la segunda generación de mejoramiento (iniciada en 2002) se definieron dos objetivos de selección con igual peso: productividad y sanidad. En este caso, la primera selección (raleo del Huerto Semillero de segunda generación) se realizó en base al comportamiento sanitario, es decir eliminando las familias que presentaron mayor susceptibilidad a enfermedades foliares (Figura 31).

5. CONCLUSIONES

Durante la ejecución del proyecto los problemas sanitarios registrados con mayor frecuencia en árboles jóvenes fueron: manchas foliares (causadas por varios hongos, entre los cuales prevaleció *Mycosphaerella* spp.), roya (causada por *Puccinia psidii*), mancha violeta (causada por *Botryosphaeria dothidea*) y daños por helada. En árboles adultos las enfermedades registradas con mayor frecuencia fueron: podredumbre blanca (causada por *Inocutis jamaicensis*), canchros en la corteza (causados por varios hongos) y canchros causados por *Coniothyrium zuluense*.

La población estudiada presenta importante variación genética para susceptibilidad

a todos los problemas sanitarios registrados. Salvo para la podredumbre blanca, la heredabilidad estimada presentó valores que demuestran la factibilidad de mejorar mediante selección la tolerancia a cada una de las enfermedades registradas y en definitiva reducir su incidencia o severidad en plantaciones comerciales a través de la utilización de genotipos más tolerantes.

Diferentes estrategias de mejoramiento genético, como la elección de una fuente de semilla adecuada, selección y clonación de individuos tolerantes o selección recurrente, se pueden utilizar aisladamente o en forma combinada para reducir los problemas sanitarios. En cualquier caso, el éxito (aumento en tolerancia) dependerá de una evaluación rigurosa que permita la correcta identificación de los individuos más tolerantes. El desarrollo de metodologías de inoculación artificial contribuirá a cuantificar la susceptibilidad a las enfermedades por las que se pretende mejorar.

En términos generales, el proceso de mejoramiento genético es relativamente largo y bastante costoso y los resultados (ganancia genética) son inversamente proporcionales al número de características a mejorar. Por tal motivo, el sector forestal uruguayo deberá cuantificar las pérdidas económicas ocasionadas por cada enfermedad para lograr una correcta priorización de los problemas a resolver.

6. AGRADECIMIENTOS

A las siguientes instituciones y empresas: Asociación Rural de Tacuarembó (ART), Caleras Diano, OFUSA, EUFORES, Paso Alto, La Caperuza, Redalco y Grupo Forestal, por su colaboración en la instalación y mantenimiento de los ensayos evaluados. A los viveros VILANOVA y SOLIS por la producción de las plantas para las pruebas de progenie de segunda generación.

A la Sociedad de Productores Forestales (SOPROFO) por el apoyo brindado al proyecto, lo cual sin duda contribuyó a su aprobación por el PDT.

Al Tec.Agr. Guillermo del Pino (Protección Vegetal, INIA Las Brujas) por su colaboración en la tareas de laboratorio.

7. BIBLIOGRAFIA

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; GONÇALVES, R.C.; ASSIS, T.F. 2004. Clonagem e Doenças do Eucalipto. Editora UFV. 442p.

BALMELLI, G. 2002. Estrategia de Mejoramiento Genético en *Eucalyptus globulus*. In Mejoramiento Genético, Silvicultura y Sanidad de *Eucalyptus globulus* en la región Sureste. Serie Actividades de Difusión N° 289. INIA Tacuarembó. p. 6-13.

BALMELLI, G.; MARRONI, V.; ALTIER, N.; GARCIA, R. 2003. Control genético de la susceptibilidad de *Eucalyptus globulus* a diferentes enfermedades. In 1° Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*. Octubre 30-31, 2003. Montevideo, Uruguay.

BETTUCCI, L. 2003. Problemas sanitarios en *Eucalyptus globulus* en Uruguay. In 1° Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*. Octubre 30-31, 2003. Montevideo, Uruguay.

BETTUCCI, L.; SARAVAY, M. 1993. Endophytic fungi of *Eucalyptus globulus*: a preliminary study. Mycological Research 97:679-682.

COUTINHO, T.A.; WINGFIELD, M.J.; ALFENAS, A.C.; CROUS, P.W. 1998. Eucalyptus Rust: a disease with the potential for serious international implications. Plant Disease 82:819-825.

CROUS, P.W. 1998. *Mycosphaerella* spp. and their anamorphs. Mycologia Memoir No. 21. APS Press. 170p.

ECHEVERRÍA, R. 2003. El *Eucalyptus globulus* en el Uruguay. In 1° Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*. Octubre 30-31, 2003. Montevideo, Uruguay.

ELDRIDGE, K.G.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, C.E.; VAN WYK, G. 1994. Eucalypt Domestication and Breeding. Oxford Press. 288p.

FERREIRA, F.A. 1983. Ferrugem do Eucalipto. Rev. Arvore 7:91-109.

HUBER, D.A. 1993. Optimal mating designs and optimal techniques for analysis of

quantitative traits in forest genetics. Ph.D. Dissertation. University of Florida. Gainesville, FL. USA. 104p.

MARTÍNEZ, S.; LUPO, S.; BETTUCCI, L. 2000. *Inonotus splitbergeri*: a stem pathogen of *Eucalyptus globulus* in Uruguay. Fitopatología Brasileira 27:420.

OLD, K.M.; DAVISON, E.M. 2000. Canker diseases of Eucalypts. In Keane *et al.* eds. Diseases and pathogens of Eucalypts. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. p. 241-257.

PARK, R.F.; KEANE, P.J.; WINGFIELD, M.J.; CROUS, P.W. 2000. Fungal diseases of Eucalypt foliage. In Keane *et al.* eds. Diseases and pathogens of Eucalypts. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. p. 153-239.

ROMERO, G. 1996. La forestación y las enfermedades forestales. Forestal 1:9-10.

SAS INSTITUTE. 1989. SAS/STAT guide for personal computers, 6th edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.

SMITH, H.; KEMP, G.H.J.; WINGFIELD, M.J. 1994. Canker and die-back of *Eucalyptus* in South Africa caused by *Botryosphaeria dothidea*. Plant Pathology 43:1031-1034.

TELECHEA, N. 2002. Aspectos fitosanitarios de *E. globulus* en el Sureste del país. In Mejoramiento Genético, Silvicultura y Sanidad de *Eucalyptus globulus* en la región Sureste. Serie Actividades de Difusión N° 289. INIA Tacuarembó. p. 65-70.

VOLKER, P.W.; DEAN, C.A.; TIBBITS, W.N.; RAVENWOOD, I.C. 1990. Genetic parameters and gains expected from selection in *Eucalyptus globulus* in Tasmania. Silvae Genetica 39:18-21.

WINGFIELD, M.J. 1999. Report on diseases of plantation *Eucalyptus* in Uruguay. 28p.

WINGFIELD, M.J.; CROUS, P.W.; COUTINHO, T.A. 1997. A serious canker disease of *Eucalyptus* in South Africa caused by a new species of *Coniothyrium*. Mycopathologia 136:139-145.

