

Volumen 18 N° 3
Diciembre 2012

ISSN 0718 - 4530 Versión impresa
ISSN 0718 - 4646 Versión en línea

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL



**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**



INFOR

VOLUMEN 18 N° 3

**CIENCIA E
INVESTIGACION
FORESTAL**

DICIEMBRE 2012

**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL es una revista científica, arbitrada, periódica y seriada del Instituto Forestal, Chile, que es publicada en abril, agosto y diciembre de cada año.

Director	Hans Grosse Werner	INFOR	Chile
Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR - IUFRO	Chile
Consejo Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR - IUFRO	Chile
	Braulio Gutiérrez Caro	INFOR	Chile
	Jorge Cabrera Perramón	INFOR	Chile
Comité Editor	José Bava	CIEFAP	Argentina
	Leonardo Gallo	INTA	Argentina
	Mónica Gabay	SAYDS	Argentina
	Heinrich Schmutzhenhofer	IUFRO	Austria
	Marcos Drumond	EMBRAPA	Brasil
	Miguel Espinosa	UDEC	Chile
	Sergio Donoso	UCH	Chile
	Vicente Pérez	USACH	Chile
	Camilo Aldana	CONIF	Colombia
	Glenn Galloway	CATIE	Costa Rica
	José Joaquín Campos	CATIE	Costa Rica
	Ynocente Betancourt	UPR	Cuba
	Carla Cárdenas	MINAMBIENTE - IUFRO	Ecuador
	Alejandro López de Roma	INIA	España
	Isabel Cañelas	INIA - IUFRO	España
	Gerardo Mery	METLA - IUFRO	Finlandia
	Markku Kanninen	CIFOR	Indonesia
	José Antonio Prado	FAO	Italia
	Concepción Lujan	UACH	México
	Oscar Aguirre	UANL	México
	Margarida Tomé	UTL - IUFRO	Portugal
	Zohra Bennadji	INIA - IUFRO	Uruguay
	Florencia Montagnini	U Yale - IUFRO	USA
	John Parrotta	USDAFS - IUFRO	USA
	Oswaldo Encinas	ULA	Venezuela
	Ignacio Díaz-Maroto	USC	España

Dirección	INSTITUTO FORESTAL	
	Sucre 2397 - Casilla 3085	Santiago, Chile
	Fono 56 2 3667115	www.infor.cl
	Correo electrónico	santiago.barros@infor.cl

La Revista no se responsabiliza por los conceptos, afirmaciones u opiniones vertidas por los autores de las contribuciones publicadas.

Se autoriza la reproducción parcial de la información contenida en la publicación, sin previa consulta, siempre que se cite como fuente a Ciencia e Investigación Forestal, INFOR, Chile.

ANÁLISIS GENÉTICO DE RASGOS MORFOLÓGICOS DE LA SEMILLA, GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL EN RAULÍ (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst.) Y ROBLE (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) EN CHILE

Medina, Alex¹ e Ipinza, Roberto²

RESUMEN

Se analiza el control genético del largo y el peso de la semilla, de sus parámetros de germinación (capacidad, energía y vigor germinativo) y del desarrollo de las plántulas, en altura, durante los primeros tres meses, usando una colección de semillas de polinización abierta de 141 familias de 15 procedencias de *Nothofagus alpina* y 351 familias correspondientes a 38 procedencias de *Nothofagus obliqua*.

La heredabilidad en sentido amplio es en general moderada a alta (0,44 a 0,77) para los rasgos físicos de la semilla y muy alta para los parámetros de germinación en *N. alpina*. Las mediciones secuenciales (seis) de altura para ambas especies muestran un importante control genético. También se observa una alta correlación en todos los pares de las variables de germinación (0,66 a 0,96) en *N. alpina*. Las variables de crecimiento inicial en altura exhiben una alta correlación entre sí, tanto genética como fenotípica, aunque para ambas especies a medida que se desarrollan se produce una disminución de la tasa de correlación entre las mediciones iniciales y las superiores, como por ejemplo en *N. obliqua* de 0,99 a 0,51.

Palabras clave: *Nothofagus*, genética de peso y largo de la semilla, germinación y crecimiento.

SUMMARY

The genetic control of length, weight and germinative parameters of the seed (capacity, energy and germinative strength), along with early growth (height) during the first three years of the seedling were analyzed. The study was conducted on a complete collection of 141 and 351 open pollinated families from 15 *Nothofagus alpina* and 38 *Nothofagus obliqua* provenances, respectively. The broad sense heritability ranged from moderate to high (0.44 to 0.77) for seed morphologic traits and very high for germinative traits in *N. alpina*. The repeated measurements analysis of height showed and important genetic control for both species.

In terms of correlations, the genetic correlation was high for all pairs of germinative parameters in *N. alpina*. For early growth both, genetic and phenotypic correlation, were also high between pairs of measurements; however, as seedlings growth continue the association level between earliest and latest measurement decreases in both species.

Key words: *Nothofagus*, seed length and weight genetics, germination and growth.

¹ MSc Universidad de Florida de EE.UU., Forestal Mininco S. A. Los Ángeles, Chile.

² Doctor Ingeniero de Montes, UPM de España, Instituto Forestal, Sede Valdivia. Chile. robertoipinza@infor.cl

INTRODUCCIÓN

La variación genética es un conjunto de diferencias heredables que se presentan dentro de una especie o población, causada por las adaptaciones particulares de los individuos a un ambiente específico.

Si se asume que la variación geográfica o de procedencia siempre presenta un grado de control genético importante, es posible afirmar que las diferencias observadas entre poblaciones dentro de un amplio rango geográfico, siempre corresponderán a una adaptación producto de la selección natural.

Desde el punto de vista de la ordenación territorial, la variabilidad genética puede expresarse como una variación clinal, que implica cambios continuos en una gradiente ambiental y variación ecotípica que implica cambios abruptos.

En gradientes medioambientales estables, cada población local tiende a separarse por el efecto de la selección, pero por el efecto de las migraciones, o flujo de genes por polen o semilla, existe un permanente intercambio de genes con las poblaciones vecinas, es decir un proceso de homogenización, lo que tiende a mantener el gradiente genético.

Donoso (1993) establece que la producción de semilla en los árboles forestales es afectada por factores ambientales, entre ellos factores del clima, tales como radiación, temperatura, humedad, pluviometría y viento; factores del suelo como nutrientes y fertilidad; y factores bióticos como insectos, animales y enfermedades.

También existe un grado de control genético sobre la capacidad de producción de semillas, de modo que en conjunto con los efectos ambientales determinan que los árboles exhiban variabilidad en su capacidad de semillación.

Donoso (1979a; 1979b), en un estudio de 11 poblaciones de *N. obliqua* a lo largo de una gradiente latitudinal demostró una variación clinal, tanto en el tamaño de la semilla como en el número de estambres por flor masculina.

Este autor concluye también que ambos rasgos están fuertemente correlacionados con la precipitación media anual y la temperatura a lo largo de esta gradiente (Donoso, 1979b).

El peso de la semilla de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. disminuye gradualmente a lo largo de una gradiente de norte – sur, desde 283.688 semillas por kilo en los 36°52' LS a 497.310 semillas por kilo en los 40°16' LS (Ordóñez, 1986).

El mayor peso de la semilla desde las poblaciones más al norte sugiere una variación ecoclinal en respuesta a las condiciones de sequedad en dirección al norte. El tamaño de la semilla y el número de estambres también aumenta desde baja a altas elevaciones (Donoso, 1996).

El presente artículo tiene como objetivo estudiar el comportamiento genético de los rasgos morfológicos de la semilla, número de semillas por kilogramo, parámetros de germinación, y crecimiento en altura bajo condiciones de invernadero, para semillas de *N. alpina* y *N. obliqua* colectadas en una gradiente latitudinal a lo largo de toda la distribución natural de estas especies en Chile.

MATERIAL Y MÉTODO

Definición de Zonas de Procedencia

La definición de las procedencias de *N. alpina* y *N. obliqua* se ha desarrollado bajo el marco del proyecto "Mejoramiento Genético de Especies de *Nothofagus* de Interés Económico" UACH-INFOR-CONAF y empresas forestales.

La definición de las regiones de procedencias fue realizada por Vergara *et al.* (1998) usando como referencia tres macroclimas correspondientes a la división climática de Fuenzalida (1965). Para *N. obliqua* se definió 14 regiones de procedencias y 39 procedencias dentro de ellas.

En el caso de *N. alpina* se determinó 7 regiones procedencias y 18 procedencias. El detalle de las procedencias de *N. alpina* y *N. obliqua* se presenta en los Cuadros N° 1 y N° 2.

Cuadro N° 1
DETALLES DE LAS PROCEDENCIAS DE *N. alpina*

Regiones de Procedencias	Procedencias	Punto de Colecta
3-C	2. Cordillera Nahuelbuta (37°40')	2. Nacimiento
	3. Cholchol (38°30')	3. Pichipillahuén
5-C	4. LLancacura (40°15')	4. Las Trancas
	5. Hueyusca (40°55')	5. Hueyusca
8-A	6. Los Queñes (35°10')	6. Radal 7 Tazas
	7. Vilches (35°40')	7. Vilches
	8. Embalse Bullileo (36°20') 750 msnm	8. Embalse Bullileo
9-A	9. Recinto (36°50') 700 msnm	9. Recinto
	10. Santa Barbara (37°40') 500 msnm	10. Santa Bárbara
	11. Jauja (38°40') 650 msnm.	11. Jauja
11-A	12. Malalcahuello (38°5') 1000 msnm	12. Malalcahuello
	13. Melipeuco (38°50')	13. Melipeuco
	14. Curarrehue (39°50')	14. Curarrehue
13-A	15. Releco (39°40')	15. Releco

Cuadro N° 2
DETALLES DE LAS PROCEDENCIAS DE *N. obliqua*

Región de Procedencias	Procedencias	Lugar de cosecha
1-C	1. Cerro el Roble (33° 07')	Tiltil
	3. Loncha (34° 12')	Alhue
2-C	4. Estero Nilahue (34° 30')	Alto Colorado
	5. Empedrado (35° 30')	Reserva Nacional Los Ruiles
	6. Ninhue (36° 20')	Ninhue
		Quirihue
3-C	7. Cerro Cayumanqui (36° 40')	Cayumanqui
	8. Cordillera Nahuelbuta (37° 40')	Curanilahue
	9. Lago Lanalhue (37° 55')	Lago Lanalhue
	10. Cholchol (38° 30')	Pichipillahuén
4-C	11. Cuesta Lastarria (39° 10')	Lastarria
	12. Cruces (39° 35')	Cayumapu (Cruces)
5-C	13. Llancacura (40° 15')	LLancacura
	14. Rio Negro (40° 50')	Rio Negro
	15. Fresia (41° 15')	Purranque
6-D	16. Victoria (38° 10')	Victoria
	17. Quepe (38° 55')	Quepe
7-D	18. Malalhue (39° 30')	Malalhue
	19. Puerto Nuevo (40° 10')	Futrono
	20. Hacienda Rupanco (40° 55')	Rupanco
8-A	21. Cord. Colchagua (34°30') 2.000 msnm	Sierras de Bellavista
	22. Altos de Vilches (35° 40') 2.000 msnm	Alto Lircay
	23. Corrales (36° 20') 1.400 msnm	Altos de Vilches
	24. Vilches (35° 40') 800 msnm	Vilches
	25. Embalce Bullileo (36° 20') 750 msnm	Bullileo
9-A	26. R. Nacional Ñuble (37° 00') 1.200 msnm	Reserva Nacional Ñuble
	27. R. Nacional Ralco (37° 50') 1.000 msnm	Ralco
	28. Recinto (36° 50') 700 msnm	Recinto
	29. Santa Bárbara (37° 40') 500 msnm	Santa Bárbara
11-A	31. Lago Galletue (38° 40')	Galletue
	32. Cunco (38° 50')	Cunco
	33. Lago Colico (39° 05')	Colico
	34. Curarrehue (39° 25')	Curarrehue
13-A	37. Choshuenco (39° 50')	Choshuenco
	38. Llifén (40° 10')	Llifén

Colecta de Semilla

La colecta de semilla fue realizada entre los meses de febrero y marzo de 1999. Se colectó semilla de 35 y 14 procedencias para *N. obliqua* y *N. alpina*, respectivamente, faltando para ambas especies las procedencias localizadas en Argentina. Para cada procedencia, se cosechó semilla en 10 individuos, completando así 351 familias de medios hermanos para *N. alpina* y 141 familias para *N. obliqua*, con totales de 19,23 kg y 1,88 kg de semilla, respectivamente. Las actividades de colecta, procesamiento y almacenaje de la semilla fueron realizadas por personal del laboratorio de semilla del Instituto Forestal, Sede Concepción.

Análisis de Semilla y Crecimiento Inicial

Para identificar los patrones de variación genética reflejados en la semilla y el crecimiento inicial de las poblaciones naturales de *N. alpina* y *N. obliqua* Medina (2000), se realizó cuatro tipos de análisis:

- Tamaño y peso individual de muestras de semilla.
- Número de semillas por kilogramo
- Parámetros germinativos
- Crecimiento inicial en altura en condiciones de invernadero

-Tamaño y Peso Individual de Muestras de Semilla

Se midió el peso individual (g) y el largo individual (mm) de una muestra de semillas de cada una de los árboles considerados en la colección. Cada muestra consistió de 30 semillas tomadas al azar, es decir que cada árbol tiene 30 réplicas.

-Número de Semillas por Kilogramo

La determinación del número de semillas por kilo se efectuó de acuerdo con las normas establecidas por el ISTA (1963), implementando ligeras modificaciones con relación al tamaño de la muestra, debido a limitaciones en la cantidad de semilla disponible para análisis. Se tomaron al azar cuatro réplicas de 50 semillas de cada árbol. Cada réplica se pesó individualmente y luego se extrapoló dicho valor al número de semillas por kilogramo.

-Parámetros Germinativos

Para este análisis se consideró solo la especie *N. alpina*. Se contemplan los parámetros germinativos propuestos por Harmann y Kester (1975); Chaisurisri *et al.* (1992) y El-Kassaby *et al.* (1992). Los parámetros se definen como sigue:

Capacidad Germinativa (CG): Porcentaje de semillas germinadas al final del período de evaluación.

Energía germinativa (EG): Corresponde al máximo cociente obtenido al dividir el porcentaje de germinación diaria acumulada por el correspondiente número de días, en otras palabras es la germinación media diaria de los componentes más vigorosos del lote de semillas. Matemáticamente se expresa como la primera derivada de la curva de germinación acumulada.

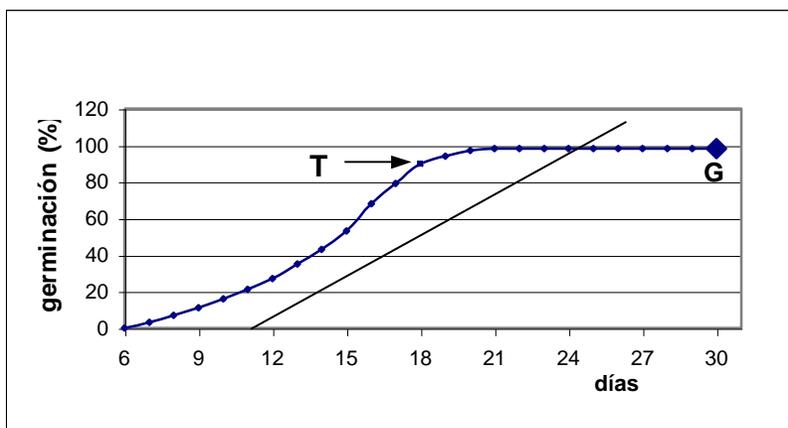
Valor de Germinación (VG): Este parámetro corresponde al producto entre la germinación media diaria (GMD), que es el porcentaje de germinación final dividido por el total de días de control (34 días), y el Valor Cima (VC), que corresponde al porcentaje de germinación

en el punto de máxima germinación marginal (T), dividido por el número de días transcurridos.

$$VG = GMD * VC$$

Donde: VG = Valor de germinación
GMD = Germinación media diaria
VC = Valor cima

En la Figura N°1 se puede apreciar el punto T, donde la razón de germinación comienza a decrecer, y corresponde al punto donde se alcanza el Valor Cima. Por su parte el punto G marca el porcentaje de germinación acumulada final, alcanzado por la muestra al término del ensayo.



T corresponde al porcentaje de germinación en el punto de máxima germinación marginal. El punto G es el porcentaje de germinación acumulada final, alcanzado por la muestra al término del ensayo.

Figura N° 1
CURVA DE GERMINACIÓN TÍPICA DE UNA MUESTRA
DE SEMILLAS GERMINADAS

Para determinar los parámetros de germinación de cada familia, se utilizó tres réplicas de 104 semillas cada una. De acuerdo con lo sugerido por Chaisurisri *et al.* (1992), para normalizar las variables respuesta y verificar la homogeneidad de varianza, se transformó el valor de CG a unidades de Bliss. Los parámetros EG y VG no se transformaron.

-Viverización

Todas las actividades de la viverización se desarrollaron bajo la metodología definida y aplicada por la empresa Mininco S A para las especies *N. alpina* y *N. obliqua* (Rodríguez y Medina, 2000).

La siembra fue realizada durante el mes de septiembre del año 1, para de esta forma obtener plantas a finales de junio del año 2, con un tamaño variable entre 35 y 60 cm de altura y un diámetro de cuello entre 4 y 8 mm.

Debido a la gran cantidad de familias y progenies la siembra comenzó en la segunda semana de septiembre de 1999, extendiéndose hasta la tercera semana de octubre.

-Crecimiento Inicial en Altura Bajo Condiciones de Invernadero

Se realizaron 6 controles de altura, cada 15 días, para llevar un control del ritmo de crecimiento en altura de la planta. Las mediciones se realizaron con una regla graduada desde el cuello hasta el ápice de la planta y los registros se expresaron en milímetros.

El número de replicas considerado para *N. alpina* fue de 30 y para *N. obliqua* de 10.

Análisis Genético

El análisis genético se realizó mediante el programa ASREML (Gilmour *et al.* 2000), donde se ajusta el siguiente modelo general mixto:

$$y = X\beta + Zu + e$$

Donde: y es el vector de observación

X es la matriz de diseño para los efectos fijos β

Z es la matriz de diseño para los efectos aleatorios $u \sim (0, \sigma^2 G)$

$e \sim (0, \sigma^2 R)$ es un vector de residuos.

En algunos casos σ^2 es incorporada en R y G . ASREML permite que tanto G y R se definan como la suma directa del producto directo de las matrices de covarianza parametrizadas. En el caso del análisis genético se utiliza la matriz de parentesco en la definición de G

De acuerdo a Gilmour *et al.* (2000), para un G y R dado, las soluciones para β y u se obtiene resolviendo las ecuaciones del modelo mixto.

La estimación de los parámetros de varianzas son determinados maximizando la función de máxima verosimilitud restringida (REML) usando el algoritmo de información promedio.

Modelo Clonal

Para el tamaño y peso individual de la semilla se aplicó el modelo clonal, sugerido por Chaisurisri *et al.* (1992), donde el efecto aleatorio es el clon o variación entre árboles.

El modelo se resolvió mediante una estrategia en dos fases, primero un análisis univariado para estimar los componentes de varianza inicial y luego un análisis bivariado propiamente tal. Este se aplicó para cada una de las especies.

Los parámetros genéticos determinados son la heredabilidad clonal (H^2_{clonal}) en sentido amplio (Chaisurisri *et al.*, 1992; El-Kassaby *et al.*, 1992), con su respectivo error estándar, también se establecen las correlaciones genéticas ($r_{\text{genética}}$), correlación residual (r_{error})

y la correlación fenotípica ($r_{\text{fenotípica}}$) entre las dos variables con sus respectivos errores estándares.

$$H^2_{\text{clonal}} = \sigma^2_{\text{clonal}} / \sigma^2_{\text{fenotípica}}$$

Donde: $\sigma^2_{\text{fenotípica}} = \sigma^2_{\text{clonal}} + \sigma^2_{\text{error}}$
 σ^2_{clonal} es la varianza entre clones o árboles y
 σ^2_{error} es la varianza del error

Las correlaciones entre rasgos ($r_{\text{genética}}$, r_{error} y la $r_{\text{fenotípica}}$) se estiman a partir de

$$r = \text{COV}(x,y) / (\sigma_x \sigma_y)$$

Donde: $\text{cov}(x,y)$ es la covarianza entre el rasgo x e y, respectivamente.
 σ^2_x e σ^2_y son las varianzas para x e y, respectivamente.

Detalles sobre esta estimación pueden encontrarse en Burdon *et al.* (1992) e Ipinza *et al.* (1994). Los errores estándares se estiman de acuerdo a Gilmour, *et al.* (2000).

Para el número de semillas por kilogramo se aplicó el modelo clonal mediante un análisis univariado para cada especie. En este caso se estimó la H^2_{clonal} con su respectivo error estándar.

Para la estimación de los parámetros genéticos asociados a los parámetros germinativos, CG, EG y VG, también se utilizó el modelo clonal, mediante una estrategia en dos fases, primero un análisis univariado y luego un análisis trivariado.

Este análisis se aplicó solo para la especie *N. alpina*. Al igual que en el primer análisis se estimó las H^2_{clonal} , $r_{\text{genética}}$, r_{error} y la $r_{\text{fenotípica}}$ entre las variables CG, EG y VG con sus respectivos errores estándares.

Modelo Familiar

Las variables crecimiento en altura fueron analizadas mediante un modelo familiar, de medio hermanos, con dos efectos aleatorio; la familia y la procedencia.

Para su solución se utilizó el programa ASREML (Gilmour, *et al.* 2000).

El análisis se realizó en una estrategia en tres fases, primero un análisis univariado y luego un análisis multivariado para obtener los valores iniciales para así comenzar la iteración del análisis multivariado final.

El análisis para las seis mediciones de altura, de cada especie corresponde al de mediciones repetidas (Gilmour, *et al.* 2000). En este caso se estimó las h^2 , $r_{\text{genética}}$, r_{error} y la $r_{\text{fenotípica}}$ entre las variables altura_i, donde $i=1..6$, son sus respectivos errores estándares.

RESULTADOS

Tamaño y Peso Individual de Muestras de Semilla

En el Cuadro N° 3 se muestra las heredabilidades en sentido amplio para el largo y peso individual de la semilla entre árboles de *N. alpina* y *N. obliqua*, respectivamente.

Cuadro N° 3
H² PARA EL LARGO Y PESO INDIVIDUAL DE LA SEMILLA
ENTRE ARBOLES DE *N. alpina* Y *N. obliqua*

Heredabilidad Clonal	<i>N. alpina</i>	<i>N. obliqua</i>
H ² _{largo} ± ee	0,5483 ± 0,0319	0,7736 ± 0,0139
H ² _{peso} ± ee	0,4483 ± 0,0322	0,5785 ± 0,0197

ee: Error Estandar

La H² para el largo y peso de la semilla de *N. alpina*, determinada por la variación entre árboles, puede ser considerada como alta, es decir el efecto clonal es importante, demostrando con ello un fuerte control genético, y por lo tanto estos rasgos se encuentran fijados entre árboles.

El menor control relativo del peso puede deberse a una mayor variabilidad por factores ambientales, probablemente presencia de semilla vana.

Para *N. obliqua*, las heredabilidades clonales del largo y peso individual de la semilla, determinadas por la variación entre árboles, son mayores que *N. alpina*, pudiendo ser catalogadas como altas.

En el Cuadro N° 4 se muestra la correlación genética, residual y fenotípica entre árboles de *N. alpina* y *N. obliqua* en función del largo y peso individual de la semilla.

Cuadro N° 4
CORRELACIONES GENÉTICAS, RESIDUAL Y FENOTÍPICA ENTRE EL LARGO
Y EL PESO INDIVIDUAL DE LA SEMILLA ENTRE ARBOLES DE *N. alpina* Y *N. obliqua*

Correlaciones	<i>N. alpina</i>	<i>N. obliqua</i>
r _{genética, largo*peso} ± ee	0.4363 ± 0.0730	0,8168 ± 0,0190
r _{residual, largo*peso} ± ee	0,3257 ± 0,0144	0,2336 ± 0,0096
r _{fenotípica, largo*peso} ± ee	0,3789 ± 0,0380	0,6186 ± 0,0200

ee: Error Estándar

La r_{genética}, entre ambas variables es alta y directamente proporcional, lo que podría sugerir que hay un efecto clonal, es decir, existe una correlación genética entre árboles que originan semillas pequeñas y livianas y otros árboles con semilla pesada y más grande.

La r_{fenotípica}, indica que dicha correlación es moderada, pudiendo existir árboles con semilla fenotípicamente muy pesada y pequeña o viceversa semilla grande y liviana.

La tendencia natural es que semilla más grande sea más pesada, pero existe una ligera influencia externa determinada por la incidencia de las perforaciones ocasionadas por el micro lepidóptero *Perzelia spp.* que altera en parte esta relación.

La $r_{\text{genética}}$ y la $r_{\text{fenotípica}}$ son altas y directamente proporcionales, lo que en definitiva establece que tanto desde el punto de vista genético como del fenotípico existe una alta relación y que esta no es al azar.

En términos genéticos esta relación es más sólida que en *N. alpina*. La r_{residual} muestra que existe una baja a moderada autoregresividad entre ambas variables.

La mayor correlación fenotípica observada en *N. obliqua* obedece a que la variación entre árboles, localizados en un amplio espectro latitudinal, obedece a efectos genéticos. Es decir la variación fenotípica es un buen estimador de la variación genética, lo que tiene muchas implicancias prácticas.

En relación a *N. alpina* existe una mayor variación ambiental provocada por el efecto distorsionador del daño provocado por *Perzelia spp.*, esta tiene una incidencia menor en *N. obliqua* que en *N. alpina*.

Número de Semillas por Kilogramo

En el Cuadro N° 5 se muestra las heredabilidades en sentido amplio para el número de semillas por kilogramo entre árboles de *N. alpina* y *N. obliqua*.

Cuadro N° 5
H² PARA EL NUMERO DE SEMILLAS POR KILOGRAMO ENTRE ARBOLES
PARA *N. alpina* y *N. obliqua*

Especie	H ² semillas por kilo ± ee
<i>N. alpina</i>	0,9394 ± 0,0081
<i>N. obliqua</i>	0,9295 ± 0,0060

ee: Error Estándar

La H² del número de semillas por kilogramo entre los árboles refleja en ambas especie un valor muy alto, con una escasa influencia de factores ambientales, denotando por lo mismo un elevado nivel de control genético.

Esto podría sugerir la utilización de este rasgo simple para identificar la procedencia de origen de un lote de semilla.

Parámetros Germinativos

En el Cuadro N° 6 se muestra las heredabilidades en sentido amplio para la Capacidad Germinativa (CG), Energía Germinativa (EG) y Valor de Germinación (VG) entre árboles de *N. alpina*.

La H²_{CG} es muy alta, H²_{EG} es moderada y H²_{VG} es baja. Las tres heredabilidades en sentido amplio reflejan que el efecto clonal es importante y que explica la gran variación observada

en la capacidad germinativa, energía germinativa y en menor nivel el valor germinativo entre los distintos progenitores. El efecto clonal es bajo para el valor de germinación (VG).

Cuadro N° 6
H² PARA LA CG, EG Y VG ENTRE ARBOLES DE *N. alpina*

Heredabilidad Clonal	Valor ± ee
H ² _{CG}	0,9049 ± 0,0160
H ² _{EG}	0,2575 ± 0,0699
H ² _{VG}	0,1564 ± 0,0679

ee: Error Estándar

En el Cuadro N° 7 se muestra la correlación genética, residual y fenotípica de la CG, EG y VG entre árboles de *N. alpina*.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre la capacidad germinativa y la energía germinativa son de moderadas a altas e inversamente proporcionales. En cambio, la relación genética y fenotípica entre la CG*VG es prácticamente nula y su error estándar es relativamente alto. La correlación genética entre EG*VG es alta, pero la fenotípica es muy baja, ambas están inversamente relacionadas, también es importante hacer notar que el error estándar de la correlación genética y fenotípica es muy alto.

El valor pequeño de la H² de VG y su alto error estándar indican que es un parámetro de fuerte efecto ambiental entre árboles.

Cuadro N° 7
CORRELACIONES GENÉTICAS, RESIDUAL Y FENOTÍPICA DE LA CG, EG Y VG ENTRE ARBOLES DE *N. alpina*

Correlaciones	Valores ± ee
r _{genética, CG*EG}	-0,4824 ± 0,1355
r _{genética, CG*VG}	0,0955 ± 0,1854
r _{genética, EG*VG}	-0,3286 ± 0,2673
r _{residual, CG*EG}	0,1100 ± 0,0751
r _{residual, CG*VG}	-0,0198 ± 0,0756
r _{residual, EG*VG}	-0,0116 ± 0,0749
r _{fenotípica, CG*EG}	-0,2036 ± 0,0702
r _{fenotípica, CG*VG}	0,0303 ± 0,0701
r _{fenotípica, EG*VG}	-0,0751 ± 0,0624

ee: Error Estándar

Crecimiento Inicial en Altura en Condiciones de Invernadero

-*Nothofagus alpina*

En el Cuadro N° 8 se muestra las heredabilidades, en sentido restringido o individual, para cada una de las seis mediciones de altura de las progenies de *N. alpina*.

Cuadro N° 8
H² PARA CADA UNA DE LAS SEIS MEDICIONES DE ALTURA DE LAS PROGENIES DE *N. alpina* EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Rasgos	Heredabilidad individual \pm ee
h_{h1}^2	0,3398 \pm 0,0451
h_{h2}^2	0,6401 \pm 0,0494
h_{h3}^2	0,6960 \pm 0,0769
h_{h4}^2	0,7921 \pm 0,1029
h_{h5}^2	0,8416 \pm 0,1275
h_{h6}^2	0,8530 \pm 0,1424

ee: Error Estándar

El crecimiento en altura de las plantas de las distintas familias de *N. alpina* exhibe un control genético creciente desde moderado ($h_{h1}^2 = 0,33$) a alto ($h_{h6}^2 = 0,85$) y también se incrementan levemente sus respectivos errores estándares.

En el Cuadro N° 9 se muestra la correlación genética entre las seis mediciones de altura de la progenie de *N. alpina*

Cuadro N° 9
CORRELACIONES GENÉTICAS ENTRE LAS MEDICIONES DE ALTURA DE LAS PROGENIES DE *N. alpina* EN CONDICIONES DE INVERNADERO

$r_{\text{genética}}(x,y)$	$h_1 \pm ee$	$h_2 \pm ee$	$h_3 \pm ee$	$h_4 \pm ee$	$h_5 \pm ee$	$h_6 \pm ee$
h_1	-					
h_2	0,8683 $\pm 0,0154$	-				
h_3	0,7167 $\pm 0,0281$	0,9428 $\pm 0,0077$	-			
h_4	0,6253 $\pm 0,0245$	0,8650 $\pm 0,0071$	0,9562 $\pm 0,0000$	-		
h_5	0,5095 $\pm 0,0200$	0,7507 $\pm 0,0061$	0,8768 $\pm 0,0000$	0,9682 $\pm 0,0000$	-	
h_6	0,4179 $\pm 0,0164$	0,6427 $\pm 0,0053$	0,7859 $\pm 0,0000$	0,9123 $\pm 0,0000$	0,9797 $\pm 0,0000$	-

ee: Error Estándar

La $r_{\text{genética}}$ desde $h_1 \cdot h_2$ a $h_1 \cdot h_6$ disminuye monótonamente (0,86 a 0,41), sugiriendo una menor correlación edad-edad, desde alta a moderada. Considerando esta tendencia, en que decrece la correlación edad-edad en mediciones sucesivas efectuadas aproximadamente cada 15 días, se puede presumir una correlación muy baja entre plantas y árboles adultos, situación que podría impedir una selección precoz en función de la característica altura, a menos que se establezca dicha relación antes de salir las plantas del invernadero.

En el Cuadro N° 10 se muestra la correlación fenotípica entre las seis mediciones de altura de la progenie de *N. alpina*.

Cuadro N° 10
CORRELACIONES FENOTÍPICAS ENTRE LAS MEDICIONES DE ALTURA DE LA PROGENIE
DE *N. alpina* EN CONDICIONES DE INVERNADERO

$r_{\text{fenotípico}}$ (x,y)	$h_1 \pm ee$	$h_2 \pm ee$	$h_3 \pm ee$	$h_4 \pm ee$	$h_5 \pm ee$	$h_6 \pm ee$
h_1	-					
h_2	0,8335 $\pm 0,0217$	-				
h_3	0,5767 $\pm 0,0675$	0,8422 $\pm 0,0257$	-			
h_4	0,4228 $\pm 0,0847$	0,7173 $\pm 0,0421$	0,9114 $\pm 0,0110$	-		
h_5	0,2876 $\pm 0,0983$	0,5884 $\pm 0,0577$	0,8263 $\pm 0,0249$	0,9329 $\pm 0,0103$	-	
h_6	0,1811 $\pm 0,1040$	0,4882 $\pm 0,0652$	0,7424 $\pm 0,0369$	0,8669 $\pm 0,0218$	0,9495 $\pm 0,0085$	-

ee: Error Estándar

La $r_{\text{fenotípica}}$ también sufre una disminución monótona de 0,88 a 0,18 desde $h_1 \cdot h_2$ a $h_1 \cdot h_6$. Esta situación junto con la expresada en los dos cuadros anteriores confirma una tendencia hacia una correlación edad-edad muy baja entre plantas y árboles adultos.

-*Nothofagus obliqua*

En el Cuadro N° 11 se muestra las heredabilidades en sentido restringido o individual para cada una de las seis mediciones de altura de las progenies de *N. obliqua*.

Cuadro N° 11
H² PARA CADA UNA DE LAS SEIS MEDICIONES DE ALTURA DE LAS PROGENIES
DE *N. obliqua*, EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Rasgos	Heredabilidad Individual $\pm ee$
$h_{h_1}^2$	0,4053 \pm 0,0599
$h_{h_2}^2$	0,7032 \pm 0,0806
$h_{h_3}^2$	0,6567 \pm 0,0802
$h_{h_4}^2$	0,5489 \pm 0,0774
$h_{h_5}^2$	0,4291 \pm 0,0697
$h_{h_6}^2$	0,4982 \pm 0,0749

ee: Error Estándar

La h^2 individual para las mediciones secuenciales de altura de las plántulas de *N. obliqua* muestran un importante control genético con errores estándares pequeños, con valores que fluctúan de 0,40 a 0,49 para $h^2_{h_1}$ y $h^2_{h_6}$ respectivamente, encontrándose valores tan alto como de 0,70 para $h^2_{h_2}$. Los altos valores observados obedecen, entre otras causas, a la escasa variación ambiental existente dentro del invernadero, de modo que gran parte de las diferencias observadas obedecen a variación de carácter genético. En el Cuadro N° 12 se muestra la correlación genética entre las seis mediciones de altura de la progenie de *N. obliqua*.

Cuadro N° 12
CORRELACIONES GENÉTICAS ENTRE MEDICIONES DE ALTURA DE LAS PROGENIES
DE *N. obliqua* EN CONDICIONES DE INVERNADERO

$r_{\text{genética}}$ (x,y)	$h_1 \pm ee$	$h_2 \pm ee$	$h_3 \pm ee$	$h_4 \pm ee$	$h_5 \pm ee$	$h_6 \pm ee$
h_1	-					
h_2	0,9331 $\pm 0,0247$	-				
h_3	0,8527 $\pm 0,0366$	0,9450 $\pm 0,0119$	-			
h_4	0,7012 $\pm 0,0553$	0,7929 $\pm 0,0339$	0,8950 $\pm 0,0185$	-		
h_5	0,5962 $\pm 0,0682$	0,6692 $\pm 0,0505$	0,7645 $\pm 0,0382$	0,9361 $\pm 0,0134$	-	
h_6	0,5192 $\pm 0,0747$	0,5701 $\pm 0,0605$	0,6668 $\pm 0,0497$	0,8460 $\pm 0,0268$	0,9334 $\pm 0,0133$	-

ee: Error Estándar

La $r_{\text{genética}}$ entre las mediciones desciende desde 0,93 ($h_1 \cdot h_2$) a 0,51 ($h_1 \cdot h_6$), desde la primera medición a la sexta medición. La correlación edad-edad es ligeramente mejor que para *N. alpina*, aunque también experimenta una disminución en la medida que se comparan mediciones más distantes.

Cuadro N° 13
CORRELACIONES FENOTÍPICA ENTRE LAS MEDICIONES DE ALTURA DE LAS PROGENIES
DE *N. obliqua* EN CONDICIONES DE INVERNADERO

$r_{\text{fenotípica}}$ (x,y)	$h_1 \pm ee$	$h_2 \pm ee$	$h_3 \pm ee$	$h_4 \pm ee$	$h_5 \pm ee$	$h_6 \pm ee$
h_1	-					
h_2	0,6515 $\pm 0,0250$	-				
h_3	0,5309 $\pm 0,0371$	0,8617 $\pm 0,0108$	-			
h_4	0,3924 $\pm 0,0519$	0,7172 $\pm 0,0266$	0,8566 $\pm 0,0146$	-		
h_5	0,3044 $\pm 0,0593$	0,6173 $\pm 0,0345$	0,7556 $\pm 0,0233$	0,9025 $\pm 0,0103$	-	
h_6	0,1646 $\pm 0,0635$	0,4644 $\pm 0,0479$	0,6224 $\pm 0,0387$	0,8079 $\pm 0,0226$	0,8750 $\pm 0,0182$	-

ee: Error Estándar

Considerando que las mediciones consideradas fueron efectuadas aproximadamente cada 15 días, también se espera una correlación muy baja entre árboles adultos y plantas. Finalmente, la $r_{\text{fenotípica}}$ es alta para $h_1^* h_2$ de 0,65 y desciende a 0,16 para $h_1^* h_6$. En el Cuadro N° 13 se muestra la correlación fenotípica entre las seis mediciones de altura de la progenie de *N. obliqua*.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los *Nothofagus* son árboles polinizados por el viento, es decir polinización anemófila. El control genético del tamaño de la semilla es potencialmente determinado por tres componentes genéticos; la planta polinizadora, la planta que porta la semilla y la constitución genética del embrión (Silvertown y Lovett-Doust, 1993).

La heredabilidad clonal para el largo y peso de la semilla es alta para ambas especies de *Nothofagus*, no obstante los valores son superiores para *N. obliqua* ($0,5785 \pm 0,0197$), incluso su error estándar es menor. Estos valores son superiores a los obtenidos por Chaisurisri et al 1992 en *Picea sitchensis*, que alcanza una heredabilidad moderada en sentido amplio para el peso de la semilla (0,36). Sorensen y Campbell (1993), sugieren que las semillas más pesadas de *Pseudotsuga menziesii* var. *Menziesii* (Mirb.) Franco producen plantas más altas a los dos años que semillas más ligeras.

Donoso (1979a; 1979b) estableció la existencia de una gradiente clinal del tamaño de la semilla, entre otros. La comprobación de un nivel de fijación genética importante para ambos rasgos estudiados aporta antecedentes para entender la dinámica de la estructura genética de esta especie y abre algunas puertas sobre la utilización de la variación genética.

La evaluación temprana de las características de crecimiento de las plantas bajo condiciones controladas permite obtener valores más depurados, en el sentido que han estado por menos tiempo influenciadas por efectos ambientales acumulativos, de esta forma la variación expresada corresponde en mayor medida a efectos genéticos.

Lo anterior se confirma también en los altos niveles de heredabilidad estimados para características de capacidad germinativa y crecimiento inicial, tanto en *N. obliqua* como en *N. alpina*. No obstante, es destacable la correlación negativa entre la energía germinativa y, los parámetros capacidad y valor de germinación. El análisis de germinación fue llevado en condiciones de laboratorio, donde la variabilidad ambiental durante el ensayo de germinación es muy escasa, y los estudios de crecimiento se han evaluado en condiciones controladas de invernadero, donde dichas condiciones han sido iguales para todas las procedencias ensayadas. Este alto control de las condiciones ambientales determina que las estimaciones de parámetros genéticos sean muy precisas. En un programa de mejora genética de mediano y largo plazo es muy importante hacer estos análisis ya que sus resultados son muy orientadores respecto del potencial genético de los árboles, las familias y procedencias en el futuro, en especial hoy en día, donde es necesario hacer un seguimiento de la presión de selección que está ejerciendo el cambio climático.

También se observa heredabilidades altas para características como el número de semillas por kilo, por su parte el peso de las semillas individuales exhibe heredabilidades entre árboles un poco menores, como consecuencia de su mayor dependencia de efectos ambientales externos, en este sentido cabe mencionar que tanto la semilla de *N. obliqua* como de *N. alpina* presenta perforaciones provocadas por el ataque del microlepidóptero *Perzelia spp.* Este insecto en su etapa larval perfora los frutos y devora parcial o totalmente el embrión de las semillas. La

incidencia del daño es distinta en *N. obliqua* que en *N. alpina*, en la primera especie el porcentaje de perforaciones disminuye de norte a sur, mientras que en *N. alpina* el fenómeno se acentúa con la latitud.

Las variables de crecimiento inicial en altura tienen una alta correlación entre sí, tanto genética como fenotípica, aún así la tendencia es que los valores de correlación disminuyan en función del tiempo transcurrido entre cada par de mediciones. La tasa de disminución de la correlación sugiere una baja correlación entre plantas y árboles adultos, a menos que en un momento determinado las correlaciones edad – edad se estabilicen.

El importante control genético encontrado en los rasgos estudiados indica claramente una fijación alelica de dichas características, lo que unido a la variación de dichos rasgos en función de gradientes ambientales, permite orientar el ordenamiento y la estrategia de mejora genética para estas especies de *Nothofagus*. En definitiva orienta a cómo utilizar la variación genética para un uso sostenible.

REFERENCIAS

Burdon, R.; Bannister, M. y Low, C., 1992. Genetic Survey of *Pinus radiata*. 4: Variance Structure and Heritabilities In Juvenile Clones. New Zealand Journal of Forestry Science 22 (2/3): 187-210.

Chaisurisri, K; Edwards, G. y El-Kassaby, Y., 1992. Genetic Control of Seed Size and Germination in Sitka Spruce. *Silvae Genetica*. 41, 6:348-355.

Donoso, C., 1979a. Genecological Differentiation in *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. in Chile. *Forest Ecology and Management* 2:53-66.

Donoso, C., 1979b. Variación y Tipos de Diferenciación en Poblaciones de Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst). *Bosque* 3(1)1-14.

Donoso, C., 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina, Variación y Estructura Dinámica. Editorial Universitaria. Chile. 483 P.

Donoso, C., 1996. Ecology of *Nothofagus* Forests in Central Chile. En: *The Ecology and Biogeography of Nothofagus Forest*. Edited by Thomas T. Veblen, Robert S. Hill, and Jennifer Read. Yale University Press, New Haven and London, Pp. 271-292

El-Kassaby, Y; Edwards, G. y Taylor, D., 1992. Genetic Control of Germination Parameters in Douglas-Fir and its Importance for Domestication. *Silvae Genetica* 41, 1:48-54.

Fuenzalida, H., 1965. Clima, En: *Geografía Económica de Chile*. Texto Refundido. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Santiago. Pp: 99-152

Gilmour, A; Cullis, B; Welham, S. y Thompson, R., 2000. ASREML Reference Manual. Version Beta. Nsw Agriculture. 227 P.

Hartmann, H. y Kester, D., 1975. Plant Propagation: Principles and Practices. Prentice Hall. 880 P.

Ipinza, R; Garcia, X.; Apiolaza, L.; Molina, M.; Chung, P. y Parra, P., 1994. Variación Juvenil de un Ensayo de Procedencias y Familias De *Eucalyptus globulus* subsp. *globulus* Labill., en la Séptima Región, Chile. *Ecología* No. 8, Pp: 259-270.

ISTA, 1993. Reglas Internacionales para el Ensayo de Semilla. 3 Ed. Editorial Rabasa SA. México, 24(3):127 P.

Medina, A., 2000. Determinación del Grado de Control Genético en Parámetros de Calidad y Forma de la Semilla, Parámetros Germinativos y Variables de Crecimiento Inicial para Procedencias de *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst. Tesis De Grado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile.

Ordóñez, A., 1986. Germinación de las Tres Especies de *Nothofagus* Siempreverdes (Coigües) y Variabilidad en la Germinación de Procedencias de Coigüe Común (*N. dombeyi*). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile.

Rodríguez, J. y Medina, A., 2000. Viverización de Procedencias de *N. alpina* y *N. obliqua* en Contenedores. En: Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble (Ed. Ipinza, R; Gutierrez, B. y Emhart, V.). 307-347.

Silverston, J. y Lovett-Doust, J., 1993. Introduction to Plant Population Biology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Uk. 244 P.

Sorensen, F. y Campbell, R., 1993. Seed Weight – Seedling Size Correlation in Coastal Douglas-Fir: Genetic and Environmental Components. Can. J. For. Res. 23:275-285.

Vergara, R.; Ipinza, R.; Donoso, C. y Grosse, H., 1998. Definición de Zonas de Procedencias de Roble y Raulí. Estado de Avance. En: Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, 'El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales: Desafíos del Siglo XXI'. Valdivia, Noviembre de 1998.

CONTROL GENETICO DE LA RESISTENCIA Y DEL ESCAPE A *Teratosphaeria nubilosa* EN *Eucalyptus globulus* EN URUGUAY

Balmelli, Gustavo³; Simeto, Sofía³; Torres-Dini, Diego³; Castillo, Alicia³; Altier, Nora³; Mac Gregor, Juan⁴ y Diez, Julio⁵

RESUMEN

El *Eucalyptus globulus* es la especie forestal más plantada en el Uruguay, existiendo más de 270.000 hectáreas de plantaciones comerciales. Sin embargo actualmente está siendo sustituido por otras especies, como *E. grandis* y *E. dunnii*, debido a los severos daños foliares provocados por *Teratosphaeria nubilosa* en las plantaciones jóvenes.

La continuidad en la plantación de esta especie depende del rápido desarrollo de material genético resistente a la enfermedad. La variación genética de la resistencia del follaje juvenil y la velocidad del cambio de follaje de juvenil a adulto fueron evaluadas en una prueba de progenies de *E. globulus* naturalmente infectada por *T. nubilosa*. El material genético incluyó 194 familias de polinización abierta provenientes de dos huertos semilleros pertenecientes al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

A los 14 meses de edad se evaluó la severidad del daño (% del área foliar afectada con manchas y % de defoliación) y la precocidad del cambio de follaje (% de follaje adulto). La severidad del daño presentó moderada heredabilidad individual ($h^2 = 0.46 \pm 0.06$ para el área foliar manchada y 0.34 ± 0.05 para la defoliación), pero una muy baja varianza genética aditiva ($\sigma^2_A = 6.25 \pm 0.90$ para manchas y 29.55 ± 5.21 para defoliación). En cambio, el porcentaje de follaje adulto presentó una alta heredabilidad ($h^2 = 0.62 \pm 0.06$) y una alta varianza genética aditiva ($\sigma^2_A = 155.85 \pm 19.29$). La correlación genética entre el porcentaje de manchas y el porcentaje de defoliación fue positiva ($r_G = 0.48 \pm 0.09$) mientras que la correlación genética entre la severidad del daño (porcentaje de manchas y porcentaje de defoliación) y la precocidad del cambio de follaje fue negativa ($r_G = -0.34 \pm 0.09$ y -0.74 ± 0.06 , respectivamente).

Los resultados obtenidos sugieren que las posibilidades de selección en *E. globulus* por resistencia del follaje juvenil a *T. nubilosa* son muy limitadas y que en cambio existen buenas posibilidades de seleccionar por precocidad en el cambio de follaje. Se concluye que la selección en base al cambio precoz de follaje, es decir por escape a la enfermedad, es la estrategia más adecuada para obtener material genético de *E. globulus* apto para zonas con alto riesgo de infección de *T. nubilosa*.

Palabras clave: Control genético, *Eucalyptus globulus*, escape, resistencia, *Teratosphaeria nubilosa*.

³ Programa Nacional Forestal. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Ruta 5, Km 386. Tacuarembó, Uruguay. gbalme@tb.inia.org.uy

⁴ Oficina Técnica. Sierras Calmas. Mariscal Estigarribia 928. Montevideo, Uruguay.

⁵ Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. Instituto de Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid. Avenida Madrid 44. Palencia, España.

SUMMARY

Eucalyptus globulus is the most widely planted species in Uruguay accounting for more than 270.000 ha of commercial planted forests. However, currently the species is replaced by other species, as *Eucalyptus grandis* and *E. dunnii*, because of the severe foliage damages to the first caused by *Teratosphaeria nubilosa* in young planted forests.

Future of *E. globulus* plantations depends on resistant genetic material development. Young foliage resistance genetic variation and its speed to change to mature foliage were evaluated in an *E. globulus* naturally infested with *T. nubilosa* progenies test, including 194 open pollinated families from the Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) seed orchard.

Damage severity (foliage area affected percent and defoliation percent) and foliage change precocity (mature leaves percent) at 14 months old were evaluated. Damage severity presented a moderate individual heritability ($h^2 = 0.46 \pm 0.06$ for foliage area and 0.34 ± 0.05 for defoliation), but a very low genetic additive variance ($\sigma^2_A = 6.25 \pm 0.90$ for foliage area y 29.55 ± 5.21 for defoliation).

Regarding to the mature foliage percent, it presented a high heritability ($h^2 = 0.62 \pm 0.06$) and a high genetic additive variance ($\sigma^2_A = 155.85 \pm 19.29$). Genetic correlation between foliage patches and defoliation percent was positive ($r_G = 0.48 \pm 0.09$) while genetic correlation between damage severity (patches percent and defoliation percent) and foliage change precocity was negative ($r_G = -0.34 \pm 0.09$ and -0.74 ± 0.06 , respectively).

Obtained results suggest that selection possibilities in *E. globulus* by young foliage resistance to *T. nubilosa* are low, while there are good selection possibilities by foliage change precocity. It is concluded that by precoty in foliage change (disease escape) is the most appropriate strategy to obtain *E. globulus* genetic material suitable to zones with high *T. nubilosa* infection risk.

Key words: Genetic control, *Eucalyptus globulus*, escape, resistance, *Teratosphaeria nubilosa*.

INTRODUCCION

El *Eucalyptus globulus* es la especie forestal más plantada en el Uruguay, existiendo más de 270.000 hectáreas de plantaciones comerciales (MGAP 2012). Sin embargo, la falta de adaptación al clima y la alta susceptibilidad de la especie a diferentes enfermedades han restringido su plantación a la zona SE del país, la de mejor aptitud para *E. globulus*.

En el año 2007 se registra por primera vez en Uruguay la presencia de *Teratosphaeria nubilosa* (Pérez *et al.* 2009), patógeno que provoca la enfermedad conocida comúnmente como Manchas de *Mycosphaerella*. *E. globulus* es altamente susceptible a esta enfermedad, la cual provoca manchas foliares y defoliación en plantaciones jóvenes, previo al cambio de follaje (Carnegie *et al.* 1998; Hunter *et al.* 2009).

Relevamientos sistemáticos conducidos desde el año 2008 en plantaciones de eucaliptos en Uruguay han demostrado que la enfermedad está distribuida en todo el país y causa defoliación severa en *E. globulus* (Balmelli *et al.* 2009; Balmelli *et al.* 2011; Simeto *et al.* 2010). El nivel de daño que año a año viene generando este patógeno en plantaciones de uno y dos años está provocando la sustitución de esta especie por otras más resistentes, como *E. grandis* y *E. dunni*.

Dada la situación descrita, la continuidad de la plantación de *E. globulus* en el país depende del rápido desarrollo de material genético resistente a la enfermedad.

Con el fin de analizar las posibilidades de selección de materiales de buen comportamiento frente a la enfermedad se evaluó una prueba de progenies de *E. globulus* naturalmente infectada por *T. nubilosa*. Los objetivos del estudio fueron estimar la variación genética de la resistencia del follaje juvenil y de la velocidad del cambio de follaje de juvenil a adulto y estimar las ganancias genéticas que podrían obtenerse mediante diferentes estrategias de selección.

MATERIALES Y METODOS

La susceptibilidad a *T. nubilosa* y la precocidad del cambio de follaje fueron evaluados en una prueba de progenies de *E. globulus* instalada en marzo de 2011 en el departamento de Lavalleja (34°11' LS; 54°54' LO; 206 msnm). El material genético incluyó 194 familias de polinización abierta provenientes de dos huertos semilleros pertenecientes al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 3 repeticiones y parcelas de 8 plantas en línea. La densidad de plantación fue de 1.428 plantas por hectárea (3,5 metros entre líneas y 2 metros sobre líneas).

En febrero de 2012 se registraron varios días consecutivos de lluvia y/o alta humedad relativa, lo cual desencadenó una severa infección de *T. nubilosa*. La severidad del daño foliar y la precocidad del cambio de follaje fueron evaluados en mayo de 2012, a los 14 meses de edad. La susceptibilidad a la enfermedad fue cuantificada en cada árbol utilizando dos parámetros; la severidad de las manchas foliares (porcentaje del área foliar con necrosis) y la defoliación (porcentaje de hojas caídas). En ambos casos se utilizaron escalas visuales adaptadas de Lundquist y Purnell (1987) y de Carnegie *et al.* (1994). Para la evaluación de la severidad de manchas (SEV) cada árbol se caracterizó de acuerdo a las siguientes clases de daño: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40%, mientras que las clases utilizadas para la evaluación de la defoliación (DEF) fueron: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70%. Para evaluar la precocidad del cambio de follaje se midió la proporción de follaje adulto (ADFO), utilizando las siguientes clases: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90%.

Para cada característica evaluada se estimaron los componentes de varianza mediante un modelo mixto en ASReml (Version 3.0) (Gilmour *et al.* 2009). El modelo univariado utilizado fue:

$$Y = MU + REP + FAM + REP * FAM + ERROR$$

Donde: Y es la observación
 MU es la media general
 REP es el efecto fijo de la repetición
 FAM es el efecto aleatorio de la familia
 REP * FAM es la interacción de repetición por familia
 ERROR es el residuo.

La varianza fenotípica (σ_p^2), la varianza aditiva (σ_a^2) y la heredabilidad individual (h_{op}^2) fueron calculadas como:

$$\sigma_p^2 = \sigma_f^2 + \sigma_{rf}^2 + \sigma_e^2$$

$$\sigma_a^2 = \frac{\sigma_f^2}{r}$$

$$h_{op}^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}$$

Donde: σ_f^2 es la varianza de familias
 σ_{rf}^2 es la varianza de la interacción repetición por familia,
 σ_e^2 es la varianza residual
 r es el coeficiente de parentesco, fijado en 0.4 para ajustar la desviación respecto a la relación de medios hermanos (asumiendo un 30% de autofecundación) (Volker *et al.* 1990).

Análisis bivariados fueron también implementados en ASReml, ajustando el mismo modelo que en los análisis univariados y utilizando los componentes de varianza de dichos análisis como valores de inicio. Las correlaciones genéticas entre diferentes características ($r_{a(i,j)}$) fueron calculadas con las varianzas y covarianzas aditivas como:

$$r_{a(i,j)} = \frac{\sigma_{a(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{a(i)}^2 \sigma_{a(j)}^2}}$$

Donde: $\sigma_{a(i)}^2$ y $\sigma_{a(j)}^2$ son las varianzas aditivas para las características *i* y *j*, respectivamente
 $\sigma_{a(i,j)}$ es la covarianza aditiva entre ambas características.

Las ganancias genéticas esperadas mediante selección por resistencia y mediante selección por precocidad en el cambio de follaje fueron analizadas para dos estrategias; la transformación de la prueba de progenies en un huerto semillero y la selección y clonación de individuos. Para el primer caso se simuló la retención de las mejores 30 familias y del mejor

individuo de cada parcela, mientras que para el segundo caso se simuló la selección de los mejores 200 individuos.

Para la estimación de las ganancias genéticas (ΔG) esperadas, expresadas en porcentaje, se utilizaró los valores de cría parentales e individuales obtenidos para las diferentes características en los análisis univariados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Al momento de realizar la evaluación del ensayo, tres meses después de que se dieran condiciones de infección, la severidad del daño provocado por *T. nubilosa* fue en promedio de 10,5% para el área foliar manchada (con un rango a nivel de individuos entre 0 y 40%) y de 31,5% para la defoliación (con un rango entre 0 y 70%), mientras que el valor medio para follaje adulto fue de 9,9% (con un rango entre 0 y 90%). La baja proporción de follaje adulto se explica por lo temprano de la evaluación (14 meses), ya que el cambio de follaje en *E. globulus* comienza generalmente entre los 18 y los 24 meses. De todas formas la severidad del daño, tanto para el área foliar manchada como para la defoliación, presentó una variabilidad mucho menor que la presentada por la precocidad del cambio de follaje (Cuadro 1). La escasa variabilidad observada en el nivel de daño probablemente se deba a la alta susceptibilidad que presenta *E. globulus* a la enfermedad (Carnegie *et al.* 1998). A su vez, la heredabilidad individual para la severidad del daño fue moderada ($h^2 = 0,46 \pm 0,06$ para el área foliar manchada y $0,34 \pm 0,05$ para la defoliación) y fue alta para el porcentaje de follaje adulto ($h^2 = 0,62 \pm 0,06$) (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
VARIANZA FENOTÍPICA, VARIANZA ADITIVA Y HEREDABILIDAD INDIVIDUAL A LOS 14 MESES EN PRUEBA DE PROGENIES DE *E. globulus* EN LAVALLEJA (URUGUAY).

Característica	Media	Varianza Fenotípica $\sigma_p^2 \pm ee$	Varianza Aditiva $\sigma_a^2 \pm ee$	Heredabilidad Individual $h_{op}^2 \pm ee$
SEV (%)	10,5	13,67 \pm 0.43	6,25 \pm 0,90	0,46 \pm 0,06
DEF (%)	31,5	86,16 \pm 2.63	29,55 \pm 5,21	0,34 \pm 0,05
ADFO (%)	9,9	251,44 \pm 8.70	155,85 \pm 19,29	0,62 \pm 0,06

ee : errores estándar (ee)

SEV : porcentaje del área foliar manchada

DEF : defoliación

ADFO : porcentaje de follaje adulto

Los valores de heredabilidad obtenidos para la susceptibilidad a *T. nubilosa* se encuentran dentro del rango de valores reportados por otros autores para *E. globulus*. Potts *et al.* (2004) reportan una heredabilidad de 0,60 para la severidad de *T. nubilosa*; Reinoso (1992) entre 0,23 y 0,48 para la severidad del daño de *Mycosphaerella*; Dungey *et al.* (1997) entre 0,2 y 0,21 para el daño de *T. nubilosa* y *T. cryptica* y Carnegie y Ades (2005) entre 0,17 y 0,36 para el daño de *T. cryptica*.

La heredabilidad obtenida para el porcentaje de follaje adulto también es similar a la obtenida por otros autores para la precocidad del cambio de follaje en *E. globulus*, por ejemplo López *et al.* (2002) reportan heredabilidades entre 0,54 y 0,65; Jordan *et al.* (1999) entre 0,43 y 0,74 y Hamilton *et al.* (2011) entre 0,44 y 0,65.

Estos resultados sugieren que es posible seleccionar tanto por resistencia a *T. nubilosa* como por precocidad en el cambio de follaje, es decir por escape a la enfermedad.

Sin embargo, la varianza total, la varianza aditiva y la heredabilidad para la precocidad en el cambio de follaje son mayores que para la resistencia, lo cual indica que la respuesta a la selección por escape a la enfermedad sería mayor.

Por otra parte, debido a que la evaluación de daño se realizó en el total de la copa, en aquellos árboles que presentaban follaje adulto (el cual presenta manchas pero que no se cae) la resistencia a la defoliación puede estar sobrestimada.

Cuando se analiza la defoliación utilizando el % de follaje adulto como covariable, tanto la varianza aditiva ($14,33 \pm 3,44$) como la heredabilidad ($0,21 \pm 0,05$) presentan valores mucho menores que los presentados en el Cuadro N° 1.

Esto demuestra que la variabilidad genética real (*per se*) de la resistencia a la defoliación es aún menor que la estimada inicialmente, lo cual limita aún más las posibilidades de selección.

Las correlaciones fenotípicas y genéticas entre el porcentaje de manchas y el porcentaje de defoliación fueron positivas (Cuadro N° 2), lo cual es esperable dado que ambas características son diferentes síntomas de la misma enfermedad.

Por el contrario, las correlaciones fenotípicas y genéticas entre la severidad del daño (porcentaje de manchas y porcentaje de defoliación) y la precocidad del cambio de follaje fueron negativas (Cuadro N° 2). En otras palabras, cuanto mayor es el porcentaje de follaje adulto menor es el nivel de daño provocado por la enfermedad.

Hay que considerar sin embargo que, como se mencionó anteriormente, la defoliación covaría con el porcentaje de follaje adulto, por lo que la correlación entre ambas características está sobreestimada.

Cuadro N° 2
CORRELACIONES FENOTÍPICAS Y GENÉTICAS A LOS 14 MESES
EN PRUEBA DE PROGENIES DE *E. globulus* EN LAVALLEJA (URUGUAY)

Características	Fenotípica (rP) ± ee	Genética (r _G) ± ee
SEV vs DEF	0,21 ± 0,02	0,48 ± 0,09
SEV vs ADFO	-0,18 ± 0,01	-0,34 ± 0,09
DEF vs ADFO	-0,44 ± 0,02	-0,74 ± 0,06

ee : errores estándar (ee)
SEV : porcentaje del área foliar manchada
DEF : defoliación
ADFO : porcentaje de follaje adulto

Las ganancias genéticas esperadas mediante la conversión de la prueba de progenies en un huerto semillero son relativamente bajas cuando se selecciona por bajo nivel de manchas y bajo nivel de defoliación (Cuadro N° 3).

Por el contrario, cuando la selección se realiza por porcentaje de follaje adulto se esperan muy altas ganancias genéticas. Similares resultados se esperan mediante la selección y clonación de los mejores individuos (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
GANANCIAS GENÉTICAS ESPERADAS PARA SEVERIDAD DE MANCHAS, DEFOLIACIÓN Y PORCENTAJE DE FOLLAJE ADULTO MEDIANTE LA TRANSFORMACIÓN DE LA PRUEBA DE PROGENIES (PP) EN UN HUERTO SEMILLERO (HS) Y MEDIANTE LA SELECCIÓN Y CLONACIÓN DE INDIVIDUOS

Criterio Selección	Media Actual	Transformación de PP en HS			Selección y Clonación de individuos		
		Media Pob. Selecta	Diferencial Selección	Ganancia Genética Esperada ΔG	Media Pob. Selecta	Diferencial Selección	Ganancia Genética Esperada ΔG
SEV (%)	10.5	5.7	4.8	21.2	4.8	5.7	25.0
DEF (%)	31.5	14.3	17.2	18.6	10.1	21.4	23.1
ADFO (%)	9.9	51.4	41.5	258.6	51.6	41.7	259.9

SEV : porcentaje del área foliar manchada

DEF : defoliación

ADFO : porcentaje de follaje adulto

Los resultados obtenidos sugieren que las posibilidades de selección en *E. globulus* por resistencia del follaje juvenil a *T. nubilosa* son muy limitadas. A su vez, desde el punto de vista operativo, esta estrategia tiene la desventaja de que la evaluación de germoplasma depende de la ocurrencia de condiciones ambientales favorables para la infección. En cambio, la selección por precocidad en el cambio de follaje no solo puede realizarse en forma segura (con independencia de las condiciones ambientales) sino que además podría utilizarse en forma preventiva en países como Chile, donde este patógeno aún no ha ingresado.

Se concluye que la selección en base al cambio precoz de follaje, es decir por escape a la enfermedad, es la estrategia más adecuada para obtener material genético de *E. globulus* para zonas con riesgo de infección de *T. nubilosa*.

RECONOCIMIENTOS

A la empresa Sierras Calmas por proveer el sitio, por la preparación del terreno y por el mantenimiento del ensayo. Al personal de apoyo del Programa Forestal del INIA, Pablo Núñez, Federico Rodríguez, Wilfredo González y Marcelo Alfonso, por su colaboración en la preparación de las plantas, la instalación del ensayo y la evaluación del mismo. El estudio fue parcialmente financiado por una beca otorgada al primer autor por el Instituto Nacional de Investigación y

REFERENCIAS

- Balmelli, G.; Martínez, G.; Simeto, S.; Torres, D.; Pérez, C.A.; Fros, D. y Bentancur, O., 2009.** Daño foliar causado por enfermedades y plagas en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* en Uruguay. Poster en XIII Congreso Forestal Mundial. 18-23 Octubre. Buenos Aires, Argentina.
- Balmelli, G.; Simeto, S.; Martínez, G.; Torres, D.; Pérez, C.A. and Bentancur, O., 2011.** Incidence and severity of pests and diseases on young plantations of *Eucalyptus globulus* in Uruguay. En: IUFRO Forest Protection Joint Meeting: pathogens, insects and their associations affecting forestry worldwide. 8-11 Noviembre. Colonia del Sacramento, Uruguay.
- Carnegie, A. J. and Ades, P. K., 2005.** Variation in *Eucalyptus globulus* Labill. and *E. nitens* Dean and Maiden in susceptibility of adult foliage to disease caused by *Mycosphaerella cryptica* (Cooke) Hansf. *Silvae Genetica*. 54, 174-184.
- Carnegie, A. J.; Keane, P. J.; Ades, P. K. and Smith, I. W., 1994.** Variation in susceptibility of *Eucalyptus globulus* provenances to *Mycosphaerella* leaf disease. *Canadian Journal of Forest Research*. 24, 1751-1757.
- Carnegie, A. J.; Ades, P. K.; Keane, P. J. and Smith, I. W., 1998.** *Mycosphaerella* disease of juvenile foliage in a Eucalypts species and provenance trial in Victoria, Australia. *Australian Forest*. 61, 190-194.
- Dungey, H. S.; Potts, B. M.; Carnegie, A. J. and Ades, P. K., 1997.** *Mycosphaerella* leaf disease - genetic variation in damage to *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, and their F-1 hybrid. *Canadian Journal of Forest Research*. 27, 750-759.
- Gilmour, A. R.; Gogel, B. J.; Cullis, B. R. and Thompson, R., 2009.** ASReml User Guide Release 3.0. VSN International Ltd: Hemel Hempstead, UK.
- Hamilton, M. G.; Tilyard, P. A.; Williams, D. R.; Vaillancourt, R. E.; Wardlaw, T. J. and Potts, B. M., 2011.** The genetic variation in the timing of heteroblastic transition in *Eucalyptus globulus* is stable across environments. *Australian Journal of Botany*. 59, 170-175.
- Hunter, G. C.; Crous, P. W.; Carnegie, A. J. and Wingfield, M. J., 2009.** *Teratosphaeria nubilosa*, a serious leaf disease pathogen of *Eucalyptus* spp. in native and introduced areas. *Molecular Plant Pathology*. 10, 1-14.
- Jordan, G. J.; Potts, B. M. and Wiltshire, R., 1999.** Strong, independent quantitative genetic control of vegetative phase change and first flowering in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (Tasmanian Blue Gum). *Heredity* 83, 179-187.
- Lopez, G. A.; Potts, B. M.; Dutkowski, G. W.; Apiolaza, L. A. and Gelid, P. E., 2002.** Genetic variation and inter-trait correlations in *Eucalyptus globulus* base population trials in Argentina. *Forest Genetics*. 9, 217-231.
- Lundquist, J. E. and Purnell, R. C., 1987.** Effects of *Mycosphaerella* leaf spot on growth of *Eucalyptus nitens*. *Plant Disease*. 71, 1025-1029.
- MGAP, 2012.** Recurso Forestal: bosques plantados registrados. <http://www.mgap.gub.uy> Acceso 01/03/2012.
- Pérez, G.; Hunter, G.; Slippers, B.; Pérez, C. A.; Wingfield, B. D. and Wingfield, M. J., 2009.** *Teratosphaeria (Mycosphaerella) nubilosa*, the causal agent of *Mycosphaerella* leaf disease (MLD), recently introduced into Uruguay. *European Journal of Plant Pathology*. 125, 109-118.
- Potts, B. M.; Milgate, A.; Joyce, K.; Mohammed, C.; Vaillancourt, R. E. and Dutkowski, G. W., 2004.** Quantitative genetic control of *Mycosphaerella* resistance in *Eucalyptus globulus* and impact on growth. In: *Eucalyptus in a Changing World*. Proceedings of IUFRO conference. Aveiro, Portugal. (Ed. by N. Borralho, J. S. Pereira, C. Marques, J. Coutinho, M. Madeira, M. Tomé. pp. 46-61.

Reinoso, C., 1992. Variation in *Eucalyptus globulus* in susceptibility to *Mycosphaerella* leaf diseases. Master of Forest Science thesis, University of Melbourne, Australia.

Simeto, S.; Balmelli, G.; Martínez, G.; Torres, D.; González, P.; Fros, D.; Bentancur, O. y Pérez, C. A., 2010. Relevamiento sanitario de *Eucalyptus* spp. en el Sureste y Litoral Oeste del país. Tacuarembó, Uruguay. INIA Serie Actividades de Difusión 629.

Volker, P. W.; Dean, C. A.; Tibbits, W. N. and Ravenwood, I. C., 1990. Genetic parameters and gains expected from selection in *Eucalyptus globulus* in Tasmania. *Silvae Genetica*. 39, 18-21.

CRECIMIENTO DE *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. EN RELACIÓN A ATRIBUTOS EDAFOAMBIENTALES A NIVEL DE MICROSITIO EN LUJÁN, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Craig, Elena⁶ y Momo, Fernando⁷

RESUMEN

En Argentina, las plantaciones de *Eucalyptus spp.* representan el 32% del total de plantaciones y el 27,7% del total de materia prima en la industria forestal (Sánchez Acosta y Vera, 2005).

Eucalyptus camaldulensis es la especie cultivada de mayor aptitud en todo el país por su gran plasticidad; resiste condiciones de extrema sequía, tolera suelos salinos y se adapta a subsuelos con terreno arcilloso.

Si bien se ha realizado evaluaciones de calidad de sitio de *E. camaldulensis* en Argentina (Baridón *et al.*, 2001), no se ha encontrado trabajos que vinculen los atributos edáficos con el crecimiento a nivel individual de rodales y el efecto de los mismos en la productividad y heterogeneidad del rodal.

Asimismo, es importante en el inventario de un rodal, relacionar el volumen, área basal y DAP con los atributos edáficos (Correa Neto *et al.*, 2007). El objetivo del trabajo es evaluar los atributos edafoambientales a nivel de microsítio y su relación con el crecimiento de los árboles y la heterogeneidad del rodal.

El crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* fue medido en árboles plantados en dos rodales localizados en Jauregui, Lujan, Buenos Aires, Argentina. La altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) fueron medidos anualmente en 100 árboles el tercero, cuarto y quinto año de plantación de los rodales.

La densidad de plantación es de 1111 arb/ha a un espaciamiento de 3 x 3 m. Al mismo tiempo, se evaluó atributos químicos y físicos del suelo a nivel del microsítio alrededor de cada árbol. Estos atributos fueron profundidad del primer horizonte (Horizonte A), del segundo horizonte (Horizonte B) y del tercer horizonte (Horizonte arcilloso B); contenido de materia orgánica, contenido de fósforo disponible y pH.

Los datos fueron analizados usando análisis multivariado discriminante (DA) y luego corroborados mediante regresión simple y múltiple de variables dendrométricas *versus* atributos edafoambientales.

Se clasificó los árboles en cuatro categorías de acuerdo a su altura total, dividiendo los datos en cuartiles. Los árboles incluidos en los cuartiles 1, 2, 3 y 4 fueron categorizados como dominados, intermedios, co-dominantes y Dominantes, respectivamente.

⁶ Depto. de Tecnología. Universidad Nacional de Lujan, Argentina. craigelena@yahoo.com.ar

⁷ Depto. de Cs. Bs., UNLu e Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina. fmomo@ungs.edu.ar

El mismo procedimiento se realizó con el DAP y el volumen. El análisis multivariado discriminante concluye que el primer eje canónico explica el 71,19% de la variación entre grupos. La primera función discriminante puede expresarse de la siguiente manera:

$$F=0.19*\text{prof1}+0.29*\text{prof2}+0.31*\%C.O.+0.11*\text{fósforo}+0.38*\text{pH1}-0.19*\text{pH2}+0.85*\text{pH3}.$$

El pH del horizonte B_t es la variable más importante para la discriminación sobre el primer eje canónico. Los árboles dominantes están agrupados solo en el área izquierda en el primer eje canónico, asociados a pH del horizonte B_t más bajos.

Similares resultados se obtuvieron analizando el DAP y el volumen. Analizando todos los árboles con sus categorías sociales, se puede observar que la altura total presentó una regresión lineal ($r^2=0,33$) respecto al pH del horizonte B_t ($p<0,0001$), pero que dicha regresión mejoró notablemente ($r^2=0.62$), cuando solo se usan en el análisis los árboles dominantes.

El pH del suelo fue la variable más significativa en relación al crecimiento de los árboles. Se encontró que los árboles dominantes crecieron en los micrositios con menores pH del horizonte B_t. Las regresiones de la altura total y el pH del horizonte B_t mejoraron notablemente usando en las mismas, solo la categoría social correspondiente a los árboles dominantes.

Palabras clave: *Eucalyptus camaldulensis*, calidad micrositio

SUMMARY

In Argentina, *Eucalyptus* plantations represent 32% of total plantings and 27.7% of total raw material in the forest industry (Sanchez Acosta and Vera, 2005).

Eucalyptus camaldulensis is the most cultivated species for its great plasticity; resists extreme drought, saline soils and tolerates clay subsoils.

While assessments were made in *E. camaldulensis* site quality in Argentina (Baridon *et al*, 2001), no information has been found that link soil attributes with individual-level growth of stands and their effect on productivity and heterogeneity of the stand. It is also important in the inventory of a stand, relate the volume, basal area and DAP, with soil attributes (Correa Neto *et al*, 2007).

The objective of this study is to evaluate the microsite factors and its relation to tree growth and stand heterogeneity.

The growth of *Eucalyptus camaldulensis* trees was measured in two stands located in Jauregui, Lujan, Buenos Aires, Argentina. The height and breast height diameter (DBH) were measured in 100 trees annually, the third, fourth and fifth year of plantation stands. Planting density was 1111 plants/ha at a spacing of 3 x 3 m.

At the same time, the chemical and physical soil attributes were evaluated around each tree. These attributes were depth of the first horizon (Horizon A), the second horizon (Horizon B) and third horizon (Bt horizon clay), organic matter content, available phosphorus content and pH.

Data were analyzed using multivariate discriminant analysis (DA) and then corroborated by simple and multiple regression of dendrometric variables *versus* soil factors.

Trees were classified into four categories according to their full height, dividing the data into quartiles. The trees included in quartiles 1, 2, 3 and 4 were categorized as dominated, intermediate, co-dominant and dominant, respectively. The same procedure was performed with the DBH and volume.

Multivariate discriminant analysis concludes that the first canonical axis explains 71.19% of the variation between groups. The first discriminant function can be expressed:

$$F=0.19*\text{depth}+0.29*\text{depth}^2+0.31*\%CO+0.11*\text{phosphorus}+0.38*\text{pH}1-.19*\text{pH}2+0.85*\text{pH}3.$$

The pH of the Bt horizon was the most important variable for discrimination on the first canonical axis. The dominant trees are grouped only in the area left at the first canonical axis, associated with pH lower Bt horizon. Similar results were obtained by analyzing the DBH and volume.

Analyzing all the trees with their social categories, it can be found that the total height presented a linear regression ($r^2 = 0.33$) with the Bt horizon pH ($p < 0.0001$), but significantly improved the regression ($r^2 = 0.62$), when only used the dominant trees.

Soil pH was the most significant variable in relation to tree growth. It was found that the dominant trees grew in microsites with lower pHs. The Bt horizon regressions of total height and pH of the Bt horizon greatly improved using only the social category corresponding to the dominant trees.

Key words: *Eucalyptus camaldulensis*, Quality microsite

INTRODUCCIÓN

La productividad forestal está regulada por una combinación de factores ambientales, incluyendo radiación, temperatura, agua y disponibilidad de nutrientes (Binkley, 1993).

La calidad de sitio forestal expresa la productividad potencial de un rodal y puede ser evaluada directamente mediante mediciones dasométricas que expresan las influencias ambientales y biológicas en el crecimiento de un árbol o indirectamente a través de estimaciones realizadas por mediciones de atributos del sitio que expresan esa capacidad (Carmean, 1975).

La calidad de sitio puede variar sustancialmente en unos pocos metros, generando heterogeneidad en el crecimiento de los árboles y afectando la productividad del rodal.

Las plantaciones de *Eucalyptus* en Argentina representan actualmente el 32% del total de las plantaciones y el 27.7% del total del material industrializado (Sánchez Acosta y Vera, 2005). La especie *Eucalyptus camaldulensis* se ha empleado en forestación históricamente en la provincia de Buenos Aires con fines de sombra y reparo, como parte de cortinas y macizos (Borzone *et al*, 2007). Es una especie extremadamente plástica, si bien en suelos con limitaciones el crecimiento y productividad, así como la forma de la misma, se ven restringidas (FAO, 1956, Moschini *et al*, 2000).

Dado que Argentina presenta potencialidad forestal en sitios de uso actual agropecuario y que se desconoce en dichos suelos cuales son los atributos que influyen en el crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, es importante evaluar los rodales existentes, a nivel de micrositio, como herramienta de predicción de modelos de productividad.

OBJETIVOS

Estimar la respuesta del crecimiento de individuos de *Eucalyptus camaldulensis* a diferentes condiciones de micrositio.

Describir la heterogeneidad de crecimiento de los árboles y su relación con la heterogeneidad de micrositios.

Estimar la importancia relativa de diferentes características y propiedades edáficas en relación al crecimiento individual de los árboles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Ensayo y Caracterización del Sitio

El estudio se realizó en dos rodales correspondientes a plantaciones comerciales de *Eucalyptus camaldulensis*, durante el tercer, cuarto y quinto año de edad, plantados con el propósito de obtener materia prima para paneles de partículas.

Estos rodales estaban ubicados en la ciudad de Jáuregui, Lujan, Argentina, a 34° 35' LS y 59° LO. La densidad de plantación fue de 1.111 plantas por hectárea, su espaciamiento fue de 3 x 3 m y las mismas fueron obtenidas de semilla local. La superficie de cada rodal fue de 10 ha, dentro de las cuales se seleccionó al azar 100 árboles. Se evaluó parámetros dendrométricos en 100 plantas y atributos edáficos en los sitios alrededor de las mismas.

El sitio tiene una pendiente del 0-2%. El clima es templado húmedo con una temperatura media anual de 16,4 °C. La precipitación media anual es de 938,5 mm con un pico de lluvias en otoño. Los suelos muestran déficit hídrico solo durante los meses de diciembre y enero (verano).

El paisaje exhibe una gran heterogeneidad topográfica, mostrando micro depresiones. Las parcelas están localizadas en el plano aluvial del Río Luján y sufren inundaciones temporarias. El suelo es un Argiudol Típico, arcilloso, fino, ílitico y térmico.

Los árboles evaluados fueron elegidos al azar dentro de la plantación. Se midió altura con clinómetro Suunto, diámetro a la altura del pecho (DAP) con cinta diamétrica, proyección de la copa, presencia de bifurcaciones, altura de bifurcaciones y número de ejes.

Debido a la heterogeneidad horizontal y vertical de estos suelos, y a la presencia de un horizonte B_t arcilloso, se tomaron muestras detalladas (25 cm x 25 cm x 25 cm) a una distancia de un metro ubicado al azar alrededor de cada árbol. Las muestras fueron tamizadas a través de un tamiz de 2 mm. La fracción fina del suelo (< 2 mm) fue utilizada para los análisis químicos.

Se evaluó de cada microsítio el espesor del horizonte superficial, subsuperficial y la profundidad hasta el horizonte B_t, los pH (1:2,5) en todos los horizontes y en el horizonte superficial, además se evaluó el contenido de materia orgánica (Walkley-Black) y el contenido de fósforo disponible (Kurtz and Bray II).

En una submuestra de 17 árboles dominantes con sus respectivas muestras de suelo, se evaluó además el contenido de nitrógeno total (Kjendal), la relación C/N, la conductividad eléctrica (mmhos/cm), el contenido de Calcio (EDTA), el contenido de Magnesio (EDTA), el contenido de Potasio (fotómetro de llama), el contenido de sodio (fotómetro de llama) y la densidad aparente (g/cm³) del horizonte superficial.

Análisis Estadístico

Se clasificó los árboles en cuatro categorías de acuerdo a su altura total, dividiendo los datos en cuartiles y dando un código numérico a cada árbol de acuerdo al cuartil al cual pertenece. Un procedimiento similar se realizó para el DAP (diámetro a la altura del pecho) y el VOL (Volumen real con corteza). Luego se realizó un análisis multivariado discriminante, usando los códigos de los cuartiles como criterio de clasificación. Los árboles incluidos en los cuartiles 1, 2, 3 y 4 fueron categorizados como dominados, intermedios, co-dominantes y dominantes, respectivamente.

A partir de la selección de atributos edáficos de mayor significancia sobre las variables dendrométricas, se realizó regresiones múltiples. Las mismas se hicieron con la totalidad de los árboles y con los árboles dominantes solamente. Además, se realizaron en la submuestra de árboles dominantes con mayor número de variables edáficas. En todos los casos se utilizó el programa estadístico INFOSTAT[®] (2009) y el XLSTAT[®] (2010).

Atributos de Crecimiento

Respecto de la altura total, se asume que el crecimiento en altura total no es afectado por la densidad del rodal y por lo tanto es un excelente indicador de la calidad de sitio e íntimamente relacionado con el sitio y la genética.

En el caso del DAP, si bien se analizó su relación con los atributos edáficos, estas relaciones dependerán del nivel de competencia de los rodales.

RESULTADOS

Relación Suelo – Planta a Nivel de Micrositio y Categorías Sociales

Los valores de las variables dendrométricas por cuartiles fueron clasificados en las cuatro categorías de árboles (dominados, intermedios, co-dominantes y dominantes) respecto de cada atributo dendrométrico, siendo los árboles dominados aquellos comprendidos entre el valor mínimo y el primer cuartil de la variable, los intermedios aquellos comprendidos entre el primer cuartil y la mediana, los co-dominantes comprendidos entre la mediana y el tercer cuartil y los dominantes aquellos comprendidos entre el tercer cuartil y el valor máximo de la variable de clasificación (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES DENDROMÉTRICAS PARA LAS CUATRO CATEGORÍAS DE
ÁRBOLES AL TERCER AÑO DE EDAD

Variable	Dominados (Código 1)	Intermedios (Código 2)	Co-Dominantes (Código 3)	Dominantes (Código 4)
Altura (m)	1,18 – 2,46	2,46- 3,21	3,21- 4,61	4,61 -6,80
DAP (cm)	0,32 – 3,18	3,18- 5,73	5,73- 10,83	10,83-17,20
Volumen (m ³ /árbol)	4,74266E-06- 0,00097	0,00097- 0,0041	0,0041- 0,021	0,021- 0,078

Análisis Multivariado Discriminante en Relación a Altura total al Tercer Año

En primer lugar se realizó un análisis de multicolinealidad entre variables de sitio, para evitar aquellas cuyo rango de tolerancia no eran admitidas por el modelo. Todas las variables evaluadas entraron en el modelo. En la Figura N°1 se muestra la separación de cuatro grupos de acuerdo a las primeras dos raíces discriminantes. El atributo edáfico significativo estadísticamente en el primer eje discriminante es el pH del B_t. (Cuadros N° 2, N° 3 y N° 4).

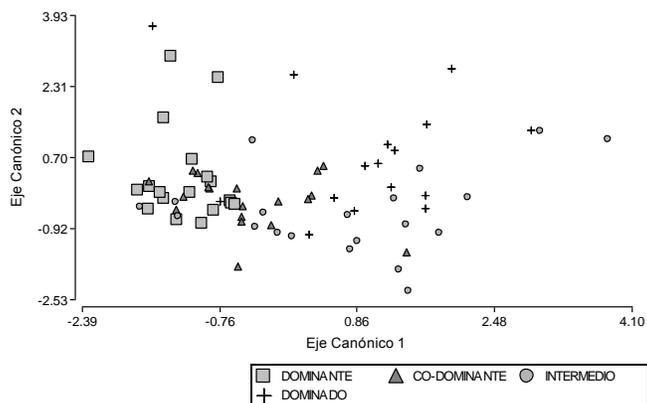


Figura N° 1
ANÁLISIS DISCRIMINANTE DE LA ALTURA AL TERCER AÑO DE PLANTACIÓN

**CUADRO N° 2
RESUMEN DE LAS FUNCIONES CANÓNICAS DISCRIMINANTES**

Función	Autovalor	Varianza (%)	Acumulado (%)
1	0,80	71,19	71,19
2	0,26	22,82	94,00
3	0,07	6,00	100,00

**Cuadro N° 3
RESUMEN ANÁLISIS FUNCIÓN DISCRIMINANTE**

Variable	Wilks Lambda	Parcial Lambda	F Remove	
			(2.56)	Nivel p
Profundidad A	0.548131	0.964687	0.841923	0.475571
Profundidad B	0.529760	0.998140	0.042849	0.988096
% Carb. Org.	0.532774	0.992494	0.173952	0.913669
Fósforo	0.534862	0.988620	0.264763	0.850558
pH horizonte A	0.595497	0.887957	2.902169	0.040972
pH horizonte B	0.582551	0.907689	2.339071	0.080998
pH horizonte Bt	0.669491	0.789817	6.120682	0.000941

**Cuadro N° 4
RESUMEN DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE EN RELACIÓN A LA ALTURA**

Variable	Matriz Estructura	Coefficientes Estandarizados
Constante	-16,98	
Profundidad A	0,03	0,19
Profundidad B	0,03	0,29
% Carb. Org.	1,03	0,31
Fósforo	0,04	0,11
pH horizonte A	0,90	0,38
pH horizonte B	-0,34	-0,19
pH horizonte Bt	1,50	0,85

El análisis de los autovalores concluye en que el primer eje canónico explica el 71,19% de la variación entre grupos (Cuadro N° 2).

La primera función discriminante puede expresarse de la siguiente manera:

$$F = 0.19 \cdot \text{prof1} + 0.29 \cdot \text{prof2} + 0.31 \cdot \%C.O. + 0.11 \cdot \text{fósforo} + 0.38 \cdot \text{pH1} - 0.19 \cdot \text{pH2} + 0.85 \cdot \text{pH3}$$

Los valores de pH del horizonte B_t entre 6 y 6,7 están asociados a la presencia de árboles dominantes. Los árboles intermedios y dominados están presentes en micrositos con pH del horizonte B_t entre 6,8 y 8,3. El límite para los árboles Co-dominantes es de un pH del horizonte B_t de 6,4 a 7,6.

En la Figura N° 2 se muestra la variación del pH del horizonte B_t por categorías sociales de árboles, encontrándose que los árboles dominantes se encuentran asociados a pH del horizonte B_t más bajos y con un rango menos amplio, lo que indicaría que los árboles dominantes se encuentran en sitios de menor pH y son más homogéneos en su distribución respecto a este parámetro edáfico.

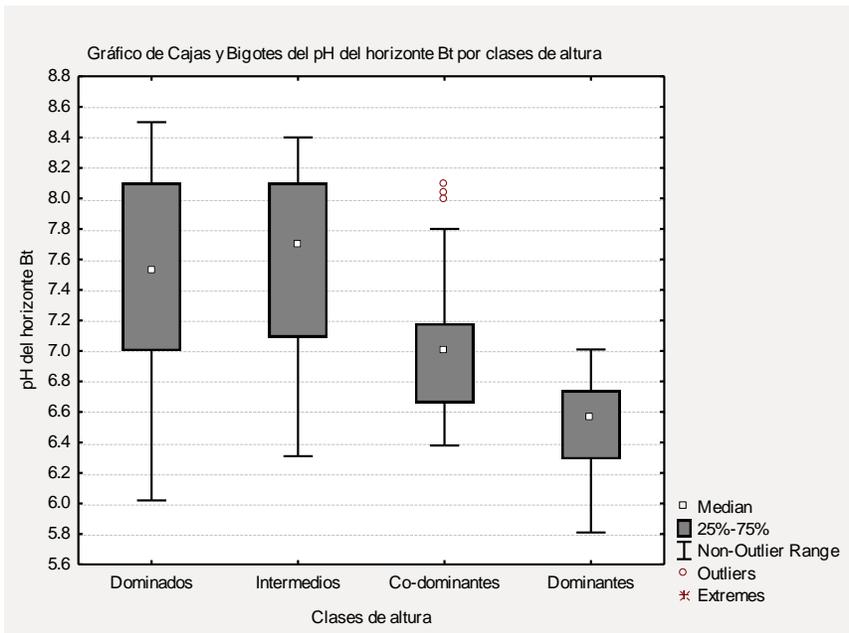


Figura N° 2
GRÁFICO DE CAJAS Y BIGOTES DEL pH DEL HORIZONTE B_t
POR CLASES SOCIALES DE ALTURA

El mismo análisis discriminante fue realizado para el DAP y para el volumen como variables dependientes. Dado que la relación alométrica entre altura y DAP con un $R^2=0,94$ los resultados de ambos análisis mostraron situaciones equivalentes. Además, este análisis se realizó para el cuarto y quinto año de edad, coincidiendo lo encontrado con el tercero.

Regresión Lineal Altura Total Versus Atributos Edáficos en Ambos Rodales en Todas las Categorías de Árboles

Se realizó una regresión lineal múltiple de los atributos edáficos *versus* la altura total, tomando esta variable como indicadora de la calidad de sitio.

Como puede observarse en la Figura N° 3, existe una relación lineal entre la altura total y el pH del horizonte B_t ($p < 0,0001$). Tomando la información de los coeficientes de regresión se llega a la siguiente ecuación para los rangos de pH del modelo:

$$Y = a + bx = 14,91 - 1,07 * \text{pH horizonte B}_t$$

El valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0,42$) y la significación del contraste F global de la regresión ($p < 0,0001$) sugieren que parte de la variabilidad de la respuesta está explicada por el modelo ajustado. Existe una relación lineal negativa entre la altura total al tercer año y el pH del horizonte B_t.

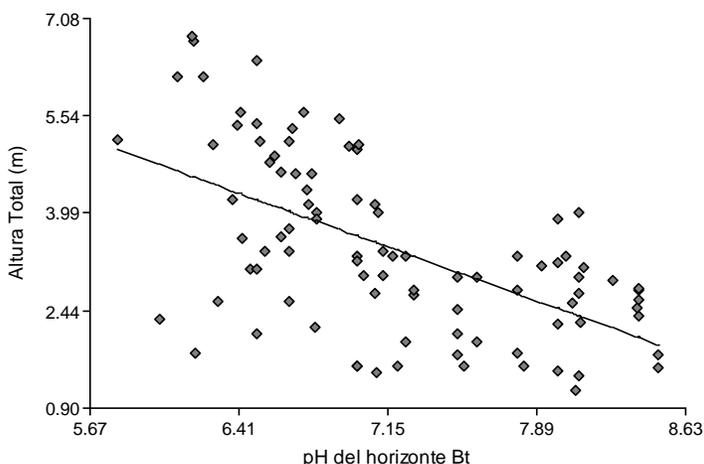


Figura N° 3
DISPERSIÓN DE REGRESIÓN LINEAL DE ALTURA TOTAL *VERSUS* pH DEL HORIZONTE B_t

Regresión Lineal de Altura Total Versus el Total de Atributos Edáficos en Ambos Rodales en la Categoría Social de Árboles Dominantes

La profundidad del horizonte A (prof 1), la conductividad eléctrica (CE), el pH del horizonte B_t (pH3) y el contenido de Magnesio del suelo presentan una relación lineal significativa ($p < 0,10$). Tomando la información de los coeficientes de regresión se llega a la siguiente ecuación:

$$H_t = 25,94 - 0,12 * \text{prof A} - 14,17 * \text{CE} - 1,89 * \text{pH B}_t + 5,61 * \text{Mg}$$

El valor del coeficiente de determinación ($R^2=0,91$) y la significación del contraste T global de la regresión ($p<0,10$) sugieren que gran parte de la variabilidad de la respuesta está explicada por el modelo ajustado. En la Figura N° 4 se muestra los gráficos de los residuos parciales en los que se observa que:

Existe una relación lineal positiva entre la altura total al tercer año y la profundidad del horizonte A.

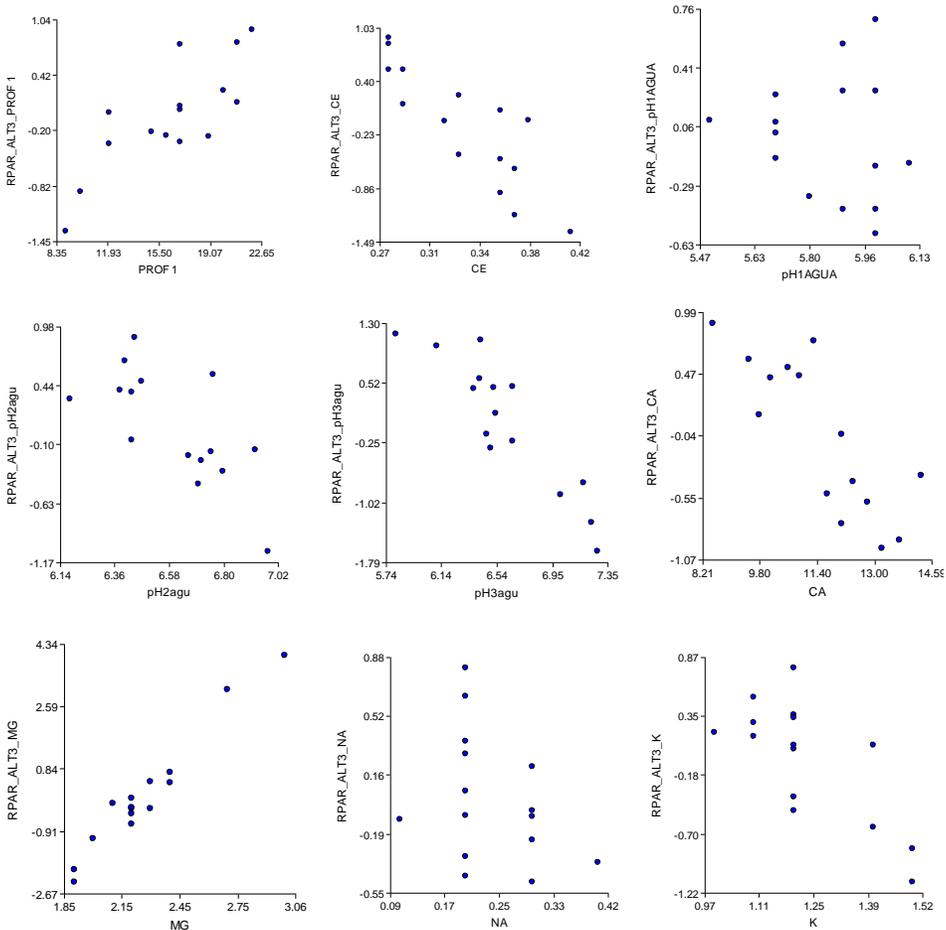
Existe una relación lineal negativa entre la altura total y la CE del suelo.

Existe una relación lineal negativa entre la altura total y el pH del horizonte B_t (pH3).

Existe una relación lineal positiva entre la altura total y el contenido de Magnesio del suelo.

Concluyendo, en la regresión lineal múltiple de la altura total *versus* variables edáficas se mejoró su capacidad predictiva cuando se uso solo la categoría social de árboles dominantes ($R^2=0,42$ *versus* $R^2=0,91$).

El mismo análisis de regresión lineal fue realizado para el DAP y para el volumen como variables dependientes. Dado que la relación alométricas entre altura y DAP presentaron un $R^2=0,95$ para esta submuestra de árboles dominantes, los resultados de ambos análisis mostraron situaciones equivalentes.



pH1= pH del horizonte superficial, pH2= pH del horizonte B y pH3= pH del horizonte B_t

Figura N° 4
GRÁFICO DE RESIDUOS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE LA ALTURA TOTAL
VERSUS VARIABLES DE SITIO EN ÁRBOLES DOMINANTES SUBMUESTRA

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo evidencia que el crecimiento de los árboles es afectado por atributos edáficos a nivel de micrositio, cobrando importancia las variables químicas y sumando al espesor de horizontes, el contenido de carbono orgánico y los pH de los horizontes.

Para *E. camaldulensis*, el pH del horizonte B_t fue el atributo edáfico de mayor importancia en relación al crecimiento de los árboles. Esto coincide con lo encontrado por Aparicio y López (1995). Resultados similares se encontraron en *E. camaldulensis* en Nigeria, donde el pH representó el 38% de la variación en productividad (Buckley 1987). En contraposición, Mushaka (1998) correlacionó parámetros químicos del suelo y la productividad de *E. camaldulensis*, no encontrando correlaciones significativas para el pH, contenido de materia orgánica y niveles de fósforo y potasio.

Barnes *et al.* (1998), afirmaron que el crecimiento potencial de los árboles es afectado por la cantidad de suelo ocupado por las raíces de los mismos y por la disponibilidad de agua y nutrientes en este espacio de suelo limitado, siendo la disponibilidad de nutrientes afectada directamente por el pH del suelo. La reacción del suelo refleja la bondad del ambiente edáfico, tanto para las raíces como para los organismos del suelo; con valores de pH menores a 4,5 disminuye la actividad biológica y por ende el crecimiento radical. Se producen engrosamientos y otras deformaciones en las raíces, casi siempre como producto de la acción tóxica del Aluminio intercambiable. Los procesos de nitrificación y fijación biológica de Nitrógeno se ven disminuidos o inhibidos (Sutton, 1991). La reacción del suelo también tiene influencia en la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas así como también la actividad microbiana, siendo un útil indicador de las propiedades químicas de los suelos y del crecimiento de las plantas (USDA, 1999; Bickelhaupt, 2003).

Otros autores encontraron que tanto las variables físicas como químicas estaban relacionadas con el crecimiento de los árboles (Hunter y Gibson, 1984; Carter y Klinka, 1992).

Al analizar una submuestra de árboles dominantes se encontró que los árboles dominantes crecieron en los micrositios con menores pH del horizonte B_t, menor CE, mayor profundidad del horizonte superficial A y mayor contenido de magnesio.

Si bien, en el análisis discriminante, la categoría social de árboles co-dominantes tuvo un comportamiento similar a los dominantes, los primeros presentan una distribución espacial más homogénea (menor rango) respecto al pH del horizonte B_t. En ese sentido, Aparicio y López (1995), Harper *et al.* (2000) y Ligier *et al.* (2000), encontraron fuertes correlaciones entre las variables de crecimiento y los parámetros físico-químicos de los suelos, donde los árboles dominantes se asociaron a suelos más fértiles y profundos. La capacidad predictiva de los modelos de regresión múltiple mejoró con el uso de la categoría social de los árboles dominantes. Además, esta categoría es la que manifiesta mayor permanencia en los rodales.

Los atributos edáficos pueden ser una alternativa útil para predecir el crecimiento de rodales jóvenes. A escala de micrositio, en *E. camaldulensis*, el pH del horizonte B_t resultó ser el atributo edáfico clave respecto del crecimiento de los árboles analizando todo el rodal.

Si solo se utiliza una submuestra de árboles dominantes en el análisis, el poder predictivo de los modelos mejora sustancialmente y el pH del horizonte B_t, el espesor del horizonte superficial A, la conductividad eléctrica y el contenido de Magnesio también cobran importancia respecto al crecimiento de los árboles.

La disminución en el crecimiento en micrositios de pH alcalino, sugiere que estas especies podrían ser plantadas en suelos ácidos (pH 5-7) como recomienda Symonds *et al.* (2001).

Futuros estudios podrían ser conducidos para analizar el efecto del pH en la disponibilidad y ciclo de nutrientes, su relación con los nutrientes foliares en los micrositios y su impacto relativo en el crecimiento de los árboles.

REFERENCIAS

Aparicio, J. L. y López, J. A., 1995. Informe Técnico N° 7. Potencial de *Eucalyptus grandis* en los suelos del sudeste de la provincia de Corrientes y algunos factores edáficos relacionados con la producción de madera. Simposio IUFRO para el Cono Sur Sudamericano. 25-30 abril de 1995. Valdivia. Chile. pp 93-108.

Baridon, J. E., Lanfranco, J. W., Marlats, R. M. y Vazquez, M., 2001. Evaluación de la calidad de sitio forestal para *Eucalyptus camaldulensis* mediante Índices Edáficos en Argiudoles y Argiacuoles en Argentina. *Agricultura Técnica Chile: 61:2 (192-201)*.

Barnes, B., Zak, D., Denton, S. and Spurr, S., 1998. Forest Ecology. John Wiley & Sons, Inc.

Bickelhaupt, Donald, 2003. Instructional Support Specialist, Faculty of Forest and Natural Resources Management. En: www.esf.edu/pubprog/brochure/soilpH

Binkley, D., 1993. Nutrición Forestal. Prácticas de Manejo. Editorial Limusa - Grupo Noriega Editores. (4)

Borzone H.A., Bardi J.F. y Laddaga, J.E., 2007. Crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH cultivado como cortina en un establecimiento agropecuario en el partido de Azul (Pcia. de Buenos Aires). Quebracho 014: 65-74. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Buckley, G. P., 1987. Soil Factors affecting yields of *Eucalyptus camaldulensis* on former tin-mining land on the Jos Plateau. Interim Report N° 12, Dept. of Geography, University of Durham (UK) and Dept. of Geography and Planning, University of Jos, Nigeria.

Carmean, W., 1975. Forest site quality evaluation in United States. *Advances in Agronomy* 2: 209-289.

Carter, R.E. y Klinka, K., 1992. Variations in shade tolerance of Douglas Fir, Western Hemlock and Western Redcedar in coastal British Columbia. *For.Ecol. Manage.*55:87-105.

Correa Neto, T. A., Cunha Dos Anjos, L. H., Pereira, M. G., Amorim H. B. y De Siqueira Jaccoud, C. F., 2007. Ciencia Florestal, Santa Maria, v17, n1, 43-51.

FAO, 1956. Estudios de silvicultura en la repoblación forestal. Roma. 431 pp.

Harper, R. J., Edwards, J. G. and Mc Grath, J. F., 2000. Relating the growth of Tasmanian Blue Gum to site conditions in South Western Australia. *Climate Change Newsletter vol.12 nro.1. Febr.*

Hunter I. R. and Gibson A. R., 1984. Predicting *Pinus radiata* site index from environmental variables. New Zealand of Forestry Science 14: 53-64.

INFOSTAT, 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Ligier H. D., Gimenez, L., Kurtz, D., Lopez, J. y Perucca, R., 2000. Relaciones entre Índice de crecimiento medio anual y propiedades de los suelos, en montes forestales de *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliotii*, en la cuenca del Río Uruguay. Corrientes. Argentina. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.

Moschini, R., Conti, H. A., Alonso, M., Rodríguez Traverso, J., Nakama, V. y Alfieri, A., 2000. Delimitación de áreas de aptitud climática para el cultivo de eucaliptos en la región Pampeana. PIA 17/96. SAGPyA Forestal No 15. Junio 2000. Argentina. Pag. 2-11.

Mushaka, A., 1998. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors for *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh planted in some communal areas of Zimbabwe. Southern African Forestry Journal 183:59-65.

Sánchez Acosta, M. y VERA, L., 2005. Situación Foresto-Industrial de Argentina al 2005. III Simposio Iberoamericano de Gestión y Economía Forestal, Ubatuba, Sao Pablo, Brasil.

Sutton, R F., 1991. Soil properties and root development in forest trees: A review. Forestry Canada Ontario Region Greats Lakes Forestry Centre. Information report 0-X-413.

Symonds, W. L., Campbella, L. C. and Clemensa, J., 2001. Response of ornamental Eucalyptus from acidic and alkaline habitats to potting medium pH. Scientia Horticulturae 88: 121-131.

USDA, 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura. Servicio de Investigación Agrícola. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos.

XLSTAT[®], 2010. Versión 3.05. Addinsoft. En: www.xlstat.com

VARIAÇÃO GENÉTICA EM PROGÊNIES DE *Eucalyptus grandis* EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA REGIÃO CENTRO OESTE DO BRASIL

Carvalho, J. B.⁸; Moraes, M. L.T.⁸; Moraes, M. A.⁸; Miranda, A. C.⁹;
Silva, P. H. M.¹⁰; Mori, E. S.¹⁰ y Paula, R. C.¹¹

RESUMO

O objetivo do presente estudo é conhecer a variação genética de progênies de *Eucalyptus grandis* em sistema silvipastoril, instalados na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP no município de Selvíria, MS, localizada na região Centro Oeste do Brasil e com tradição em criação de animais.

O teste de progênies foi implantado em dezembro de 2009, utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados com uma planta por parcela, 26 repetições e 147 progênies de *Eucalyptus grandis* (tratamentos) e 3 clones comerciais: C041H, H15 e P4295H, no espaçamento de 6,0 x 3,0 x 2,0 m.

O material pertence ao Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal - PCMF do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF.

Aos 22 meses após o plantio foram avaliadas a altura total das plantas e a sobrevivência. A variação genética para estes caracteres foi estimada com base na metodologia da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP).

Verificou-se, que a sobrevivência foi de 76,63% e a média geral para altura de 5,68 m.

Foi possível detectar a presença de considerável variação genética entre progênies; uma alta acurácia $r = 0,87$, herdabilidade individual $h^2 = 0,45$, herdabilidade média entre as progênies $h^2 = 0,77$ e um coeficiente de variação genética $CV_g = 9,25\%$ que evidenciaram o controle genético da altura de plantas.

A disposição em fileiras duplas proporcionou a ocorrência de braquiária nas entre linhas, o que permitirá a presença de gado no local.

A variação genética encontrada evidencia que o teste de progênies será uma etapa importante para o melhoramento genético desta importante espécie arbórea, nesta região do Brasil, que possui um enorme potencial para a produção de celulose.

Palavras chave: *Eucalyptus grandis*, Sistema silvipastoril, Teste de progênies

⁸ Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP-Ilha Solteira-Brasil. E-mail: teixeira@agr.feis.unesp.br

⁹ Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais/IPEF-Piracicaba-Brasil. E-mail: paulohenrique@ipef.br

¹⁰ Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP-Botucatu-Brasil. E-mail: esmori@fca.unesp.br

¹¹ Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP-Jaboticabal-Brasil. E-mail: rcpaula@fcav.unesp.br

SUMMARY

The article's objective is to know the *Eucalyptus grandis* progenies genetic variation in an agroforestry system established in Fazenda de Ensino, Ilha Solteira/UNESP Engeneering and Extension Falculty at the Selvíria, MS, county, Centre West Region Brazil, with tradition in cattle breeding land use.

The progenies test was planted in December 2009 using randomized blocks, one plant by plot, 26 replications and 147 progenies of 3 commercial clones; C041H, H15 and P4295H, at a planting spacing of 6 x 3 x 2 m.

Planting material belongs to the Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF's Cooperative Forest Improvement Programme.

At 22 months old total heigh and survival were evaluated. Genetic variation of these variables was evaluated through the REML/BLUP methodology.

Survival was 76,63% and the mean heigh was 5,68 m.

A considerable genetic variation was found between progenies, high accuracy $r = 0,87$ individual heritability $h^2 = 0,45$, medium heritability between progenies $h^2 = 0,77$ and a genetic variation coefficient $CV_g = 9,25\%$, figures which evidence plant heigh genetic control.

The double row arrangement favours the *Brachiaria sp.* occurrence between rows which will allow the cattle presence in the site.

The genetic variation found indicates that the progenies test will be an important stage towards the genetic improvement with that interesting tree species for this Brazil's region which has a great wood pulp production potential.

Key words: *Eucalyptus grandis*, Agroforestry system, Progenies test.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial por possuir excelente desempenho no setor florestal, fruto de suas condições climáticas e da tecnologia desenvolvida pelas empresas e instituições de pesquisa do País. Como resultado, as taxas nacionais de crescimento do eucalipto são bastante superiores às observadas em outros países, por exemplo, no ano de 2007 o Brasil atingiu uma produtividade de 38 m³/ha/ano, enquanto que Austrália atingiu 25 m³/ha/ano e Portugal atingiu 13 m³/ha/ano. Além dos ganhos de produtividade, a redução na rotação das florestas plantadas (colheita) propicia também a diminuição dos custos dessa produção. O menor preço da madeira proveniente desse cultivo no Brasil, em relação aos demais países do Hemisfério Norte, tem criado importantes vantagens comparativas e competitivas na cadeira de produtos florestais.

Em 2011 a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinos no Brasil atingiu 6.516.000 ha, sendo o eucalipto responsável por 75% da área com floresta plantada, com a geração de 2.100.000 empregos diretos e indiretos. A exportação dos produtos florestais correspondeu a quase 8 bilhões de dólares, sendo responsável por 19% do saldo da balança comercial brasileira.

Uma das mais importantes espécies é o *E. grandis* que pertence a família *Myrtaceae*, e tem ocorrência natural em áreas costeiras e nas proximidades faixas mais baixas de Nova Gales do Sul para o norte de perto Newcastle para leste de Gympie em Queensland; também a oeste de Mackay e de Mt Elliot sudeste de Townsville, depois com disjunções grandes norte ao planalto Windsor oeste de Daintree (Brooker and Kleinig, 2004 e 2006). Nestas regiões as latitudes são entre 25° e 33° Sul. As altitudes variam desde aquelas próximas ao mar até 600 m, na área de maior ocorrência, e entre 500 e 1.100 m, nas áreas mais ao norte (Atherton-QLD). Ocorre em solos de origem vulcânica ou aluviais, nos vales e planícies ao longo da costa leste australiana, estendendo-se até o limite de Queensland-Nova Gales do Sul (EMBRAPA, 1986).

A área de distribuição de origem do *E. grandis* tem como temperatura mínima média dos meses mais frios de 2 à 10°C e temperatura máxima média dos meses mais quentes de 29°C (Martins, 2007).

Para Tomaselli (2000), a opção para o *E. grandis* no Brasil resulta da sua excelente resposta silvicultural, como boa forma e rápido crescimento, além de propriedades desejáveis para usos múltiplos da madeira.

Em espécies florestais, de modo geral, as estratégias básicas de melhoramento podem ser resumidas em seleção de procedências e seleção individual dentro das populações-base, utilizando-se a variabilidade existente naturalmente dentro das populações e entre os indivíduos. Para recombinação do material genético selecionado, bem como para dar continuidade à seleção recorrente, utilizam-se povoamentos conhecidos como áreas de coleta e produção de sementes ou pomares de sementes por mudas clonais. Testes de progênies convencionais são utilizados para a seleção dos indivíduos superiores. Por via assexuada, a propagação é feita por meio do enraizamento de propágulos de árvores selecionadas, muitas vezes híbridas, para a implantação de testes clonais e áreas de multiplicação, fundamentais para a silvicultura (Ferreira, 1992).

Os programas de melhoramento de espécies florestais têm como principais objetivos, o aumento da produtividade, a obtenção da matéria-prima de maior qualidade, a melhoria nas condições adaptativas das espécies, a tolerância a pragas e doenças, assim como a manutenção da variabilidade genética, requisito fundamental para a obtenção de ganhos genéticos em longo prazo (Moraes *et al.*, 1997).

Programas de melhoramento florestal, em geral, seguem os seguintes passos: Teste de espécie, teste de procedência das espécies de maior potencial, teste de progênes das melhores procedências e hibridação ou seleção em teste de progênes de irmãos-completos.

Uma das etapas fundamentais em programas de melhoramento genético florestal é a análise dos testes de progênes que permitem quantificar a herança de caracteres quantitativos de valor econômico, bem como estimar ganhos genéticos esperados pela seleção. Dentre os diversos parâmetros genéticos estimados em testes de progênes, um dos mais importantes é o coeficiente de herdabilidade, que mede o controle genético existente em um caráter, portanto, o potencial que o melhorista tem para a seleção é o melhoramento genético (Vencovsky e Barriga, 1992).

Os testes de progênes, instrumentos importantes para o trabalho do melhorista, têm sido usados na estimação de parâmetros genéticos, seleção de famílias e indivíduos, quando se procura avaliar a magnitude e a natureza da variância genética disponível, com vistas a quantificar e maximizar os ganhos genéticos, utilizando-se adequado procedimento de seleção (Costa *et al.*, 2005).

Os arranjos utilizados nesses testes de progênes são variáveis. Uma opção interessante é na forma de sistema silvipastoril, onde há o cultivo de uma planta perene com criação de animais, que é uma modalidade do sistema Agroflorestal.

O sistema agroflorestal (SAF) é um nome coletivo para sistemas e tecnologias de uso da terra onde lenhosas e perenes são usadas deliberadamente na mesma unidade de manejo da terra com cultivares agrícolas e/ou animais em alguma forma de arranjo espacial e sequência temporal (Nair, 1993). Assim, em sistemas silvipastoris, a produção animal é beneficiada pela melhoria das condições ambientais.

Uma situação interessante que se verifica em uma pastagem é que a criação de animais em um ambiente arborizado é capaz de contribuir para o sequestro de carbono. Desse modo, é possível se pensar no “boi verde” e no “leite verde”, conceitos ligados as condições ambientais em que os animais são criados (Porfírio-Da-Silva *et al.*, 2009).

Portanto, novas propostas do ponto de vista silvipastoril são importantes, pois no Brasil o aumento da produção de leite e carne bovina é devido a expansão da área de pastagem e não do aumento da produtividade (Garcia *et al.*, 2010).

Assim, estudos com espécies de eucalipto integradas com a pecuária vêm demonstrando que este sistema é mais eficiente do ponto de vista econômico e do uso da terra (Carvalho *et al.*, 2004). Nesse sentido, as atividades florestal e pecuária têm pesos maiores que as culturas anuais sobre as decisões econômicas (Macedo *et al.*, 2010).

Na região dos Cerrados, a principal espécie arbórea que tem sido indicada para sistemas silvipastoris é o eucalipto (Daniel e Couto, 1998).

OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é conhecer a variação genética de progênes de *Eucalyptus grandis* em sistema silvipastoril, instalados na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP no município de Selvíria, MS, localizada na região Centro Oeste do Brasil e com tradição em criação de animais.

MATERIAL E MÉTODOS

As progênes de *E. grandis* são provenientes do Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal (PCMF) do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Esse programa foi criado em 2008, com o intuito de reunir o material genético melhorado existente nas empresas, nas Estações Experimentais no Brasil e no exterior, visando ampliar a base de material potencial para as instituições participantes.

O teste de progênes de *E. grandis* foi instalado no espaçamento de 6 x 3 x 2 m em dezembro de 2009, utilizando o delineamento experimental de uma planta por parcela, com 26 repetições, sendo utilizadas de 147 progênes de *E. grandis* (tratamentos) e 3 clones comerciais: C041H, H15 e P4295H (Figura N° 1).

Este teste está na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FEIS/UNESP) localizada em Selvíria, no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil (20°20' LS, 51°23' LW e altitude de 335 m). O relevo é caracterizado como moderadamente ondulado.

O clima do local é do tipo Aw, pela classificação de Köppen, com temperatura média anual de 25°C, umidade média anual de 66%, precipitação média anual de 1.330 mm (Hernandez *et al.*, 1995). O solo local foi classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, A moderado, hipodstrófico, álico, caulínitico férrico, compactado, muito profundo. Moderadamente ácido (LVd).

Aos 22 meses após o plantio foram avaliadas a altura total das plantas (m) e a sobrevivência (%).

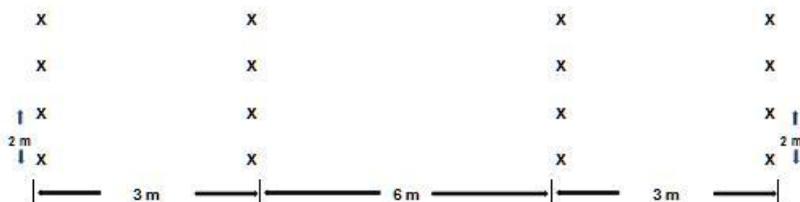


Figura N° 1
CROQUI DA ÁREA DO TESTE DE PROGÊNES DE *Eucalyptus grandis*
CONSORCIADO COM PASTAGEM

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP), empregando-se o *software* genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP, desenvolvido por Resende (2002, 2007a).

Para utilizar os modelos propostos pelo programa, foi preciso assumir que as progênes, obtidas por polinização livre, são de meios-irmãos.

As variáveis quantitativas foram analisadas pela metodologia do modelo linear misto (aditivo univariado) – REML/BLUP, aplicado aos testes de progênes de meios-irmãos,

delineamento em blocos casualizados, com uma planta por parcela, um só local e uma única população, seguindo o modelo estatístico (Resende, 2007b):

$$y = Xb + Za + e$$

Em que: y: Vetor de dados
 b: Vetor dos efeitos de blocos (fixos)
 a: Vetor dos efeitos genéticos aditivos (aleatório)
 e: Vetor dos efeitos de erros aleatórios
 X, Z: Matrizes de incidência para b e a, respectivamente.

Estimativas dos parâmetros genéticos:

a) Variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$);

b) Variância ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$);

c) Variância residual (ambiental + não aditiva) ($\hat{\sigma}_e^2$);

d) Variância fenotípica individual ($\hat{\sigma}_f^2$): $\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2$

e) Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos (\hat{h}_a^2):

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2}$$

f) Herdabilidade da média de progênies, assumindo sobrevivência completa (\hat{h}_m^2):

$$\hat{h}_m^2 = \frac{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2}{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)}{n \cdot r}}$$

g) Herdabilidade aditiva dentro de parcela

$$(\hat{h}_{ad}^2): \hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2}{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}$$

h) Coeficiente de variação genética aditiva individual (evolubilidade, Houle, 1992) (CV_{gi}):

$$CV_{gi} (\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100$$

i) Coeficiente de variação genotípica entre progenies

$$(CV_{gp}): CV_{gp} (\%) = \frac{\sqrt{0,25 \cdot \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100$$

j) Coeficiente de variação experimental

$$(CV_e): CV_e (\%) = \frac{\sqrt{[(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2) / n] + \hat{\sigma}_c^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

n: número de plantas por parcela.

k) Coeficiente de variação relativa

$$(CV_r): CV_r = \frac{CV_{gp}}{CV_e}$$

l) Acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa ($r_{\hat{a}a}$):

$$r_{\hat{a}a} = \sqrt{\hat{h}_m^2}$$

RESULTADOS

No presente teste, as progênes tiveram uma altura média de 5,7 m e uma taxa de sobrevivência de 76%. O coeficiente de variação experimental foi de 25% para a altura e 52% para a sobrevivência (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
ESTIMATIVA DA MÉDIA, DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO EXPERIMENTAL E DO TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA PARA OS CARACTERES SILVICULTURAIS ALTURA TOTAL DE PLANTAS (ALT) E SOBREVIVÊNCIA (SOB)

Caráter	Média \hat{m}	Coeficiente de Variação Experimental CV_e (%)	Teste da Razão de Verossimilhança LTR
ALT (m)	5,68	25,72	150,07**
SOB (%)	76,63	52,66	22,48**

**significativo a 5% com 0,5 grau de liberdade.

Para o caráter altura, o coeficiente de herdabilidade individual dos efeitos aditivos (h_a^2), coeficiente de herdabilidade da média de progênies (h_m^2), herdabilidade aditiva dentro de parcela (h_{ad}^2) foram de 0,46; 0,77 e 0,39, respectivamente, e para a sobrevivência foram de 0,11; 0,42 e 0,08, respectivamente (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
ESTIMATIVA DA HERDABILIDADE INDIVIDUAL DOS EFEITOS ADITIVOS, DA HERDABILIDADE DA MÉDIA DE PROGÊNIES, E DA HERDABILIDADE ADITIVA DENTRO DE PARCELA PARA OS CARACTERES SILVICULTURAIS ALTURA TOTAL DE PLANTAS (ALT) E SOBREVIVÊNCIA (SOB)

Caráter	Herdabilidade Individual dos Efeitos Aditivos \hat{h}_a^2	Herdabilidade da Média de Progênies \hat{h}_m^2	Herdabilidade Aditiva Dentro de Parcela \hat{h}_{ad}^2
ALT (m)	0,45 ± 0,07	0,77	0,39
SOB (%)	0,11 ± 0,03	0,42	0,08

O coeficiente de variação genética aditiva individual foi maior que o coeficiente de variação genotípica entre progênies, em ambos os caracteres estudados, com 18,5% e 9,25% para a altura e 17,7% e 8,86% para a sobrevivência, respectivamente. A acurácia foi de 88% para a altura e 65% para a sobrevivência. O coeficiente de variação relativa foi baixo para ambos os caracteres, com 0,36 para a altura e 0,17 para a sobrevivência (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO GENÉTICA ADITIVA INDIVIDUAL, DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO GENOTÍPICA ENTRE PROGÊNIES, DA ACURÁCIA E DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO RELATIVA PARA OS CARACTERES SILVICULTURAIS ALTURA TOTAL DE PLANTAS (ALT) E SOBREVIVÊNCIA (SOB)

Caráter	Coefficiente de Variação Genética Aditiva Individual CV_{gi} (%)	Coefficiente de Variação Genotípica Entre Progênies CV_{gp} (%)	Acurácia $r_{\hat{a}a}$	Coefficiente de Variação Relativa CV_r
ALT (m)	18,50	9,25	0,87	0,36
SOB (%)	17,72	8,86	0,65	0,17

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As progênies apresentaram taxa de sobrevivência de 76,63% e altura média de 5,68 m, resultados semelhantes aos obtidos por Martins *et al.* (2006) que estudaram o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis*. O coeficiente de variação experimental foi alto para ambos os caracteres,

porém a utilização de muitas repetições das progênes no delineamento experimental permitiu que isso não interferisse na baixa precisão das estimativas (Cuadro N°1).

Como esperado, os coeficientes de herdabilidade em nível de média de progênes apresentaram valores mais altos do que dentro de progênes, indicando que a seleção baseada em médias tem um nível de precisão mais elevado do que baseado em parcelas ou plantas individuais (Vencovsky e Barriga, 1992) para todos os caracteres estudados (Cuadro N° 2).

Os coeficientes de variação genética apresentaram valores altos entre os caracteres estudados, destacando-se o coeficiente de variação genética aditiva individual com 18,5% (altura) e 17,7% (sobrevivência). Isto indica que a altura foi a que expressou a maior variação genética entre os indivíduos, portanto durante o processo de seleção esse caráter poderá ser selecionado em nível de indivíduos dentro das progênes estudadas.

A acurácia, que representa a relação entre o valor genético verdadeiro e o estimado foi alta para a altura (87%) e moderada para sobrevivência (65%) (Cuadro N° 3). Para Resende e Duarte (2007) a acurácia é considerada como de valor alto em um intervalo entre 70% a 90%, indicando alta precisão no acesso a variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada nos caracteres.

O coeficiente de variação relativa CV_i indica a correlação entre o coeficiente genotípico do indivíduo e o coeficiente experimental utilizado para estimá-lo. Desta forma, maiores estimativas de CV_i indicam sucesso na seleção. Neste caso, a altura (0.36) é o caráter de maior interesse e o mais indicado para se fazer a seleção.

A disposição em fileiras duplas proporcionou a ocorrência de *Brachiaria sp.* nas entre linhas, o que permitirá a presença de gado no local. Dessa forma, pode-se aproveitar as vantagens do sistema silvipastoril (Carvalho et al., 2004; Porfírio Da Silva et al., 2009; Garcia et al., 2010 e Macedo et al., 2010) com a presença de considerável variação genética observada para o caráter altura de plantas na população de *E. grandis* estudada, o que permitirá a seleção de genótipos com adaptação e alta produtividade na condição de sistema silvipastoril.

REFERÊNCIAS

Brooker, M. I. H. e Kleining, D. A., 2004. Field Guide to Eucalypts – Vol. 3 Northern Australia. Melbourne: Bloomings Books Pty Ltd. 383p.

Brooker, M. I. H. e Kleining, D. A., 2006. Field Guide to Eucalypts – Vol. 1 South-Eastern Australia. Melbourne: Bloomings Books Pty Ltd. 356p.

Carvalho, M. M.; Fernandes, E. N.; Alvim, M.; Xavier, D., 2004. Experiências com Sistemas Silvopastoris e Agrossilvopastoris nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. In: Müller, M. W.; Gama-Rodrigues, A. C.; Brandão, I. C. F. L.; Serôdio, M. H. C. F. Sistemas Agroflorestais, Tendência da Agricultura Ecológica nos Trópicos: Sustentação da Vida e Sustentamento da Vida. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, P.125-140, 2004.

Costa, R. B.; Resende, M. D. V.; Contini, A. Z.; Rego, F. L. H.; Roa, R. A. R.; Martins, W. J., 2004. Avaliação Genética Dentro de Progênes de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), Na Região de Caarapó, Ms, Pelo Procedimento Reml/Blup. Ciência Florestal, N.15, P.371-376, 2005.

Daniel, O. e Couto, L., 1998. Una Visión General de Sistemas Silvopastoriles y Agrosilvopastoriles con Eucalipto En Brasil. In: Conferencia Electrónica de la Fao Sobre Agroforestería Para la Producción Animal En Latinoamérica, 3. Disponível Em:

<http://www.Fao.Org/Waicent/Faoinfo/Agricult/Agap/Agap/Frg/Agrofor1/Daniel21.Pdf>. Acesso Em: 02 Maio. 2012-05-14.

EMBRAPA, 1986. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Zoneamento Ecológico para Plantios Florestais no Estado do Paraná. Brasília: EMBRAPA-Ddt, 89p.

EMBRAPA, 1999. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio De Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 412p.

Ferreira, M., 1992. Melhoramento e a Silvicultura Intensiva Clonal. *Scientia Forestalis*, N.45, P.22-30.

Garcia, R.; Tonucci, R. G.; Gobbi, K. F., 2010. Sistemas Silvopastoris: Uma Integração Pasto, Árvore e Animal. In: Oliviera Neto, S. N.; Vale, A. B.; Nacif, A. P.; Vilar, M. B.; Assis, J. B. Sistema Agrossilvopastoril: Integração Lavoura, Pecuária e Floresta. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, P.123-165.

Hernandez, F. B. T.; Lemos Filho, M. A. F. e Buzetti, S., 1995. *Software* Hidrisa e o Balanço Hídrico de Ilha Solteira. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 45p. (Série Irrigação, 1).

Houle, D., 1992. Comparing Evolvability and Variability of Quantitative Traits. *Genetics*, V.130, P.195-204.

Macedo, R. L. G.; Vale, A. B. e Venturin, N., 2010. Eucalipto em Sistemas Agroflorestais. Lavras: Ufla, 331p.

Martins, F. B., 2007. Desenvolvimento e Estresse Hídrico em Mudanças de *Eucalyptus grandis* (Hill Exmaiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith). 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Rs.

Martins, I. S.; Martins, R. C. C. e Pinho, D. S., 2006. Alternativas de Índices de Seleção em uma População de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. *Cerne*, V.12, N.3, P.287-291.

Moraes, M. L. T.; Higa, A. R.; Cavenage, A. e Kano, N. K., 1997. Avaliação da Densidade Básica da Madeira e de sua Relação com os Caracteres de Crescimento, em uma População Base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. In: Iufro Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*. EMBRAPA, Salvador, Brasil, P.43-47.

Nair, P. K., 1993. An Introduction to Agroforestry. The Netherlands: Kluwer Academia Publishers with ICRAF, 496p.

Porfírio Da Silva, V.; Medrado, M. J. S.; Nicodemo, M. L. F.; Dereti, R. M., 2009. Arborização de Pastagens com Espécies Florestais Madeireiras: Implantação e Manejo. Colombo: EMBRAPA Florestas, 48p.

Resende, M. D. V., 2002. Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 975p.

Resende, M. D. V., 2007a. Matemática e Estatística na Análise de Experimentos e no Melhoramento Genético. Colombo: EMBRAPA Florestas, 561p.

Resende, M. D. V., 2007b. Selegen-Rem/Blup: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada Via Modelos Lineares Mistos. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007b. 359p.

Resende, M. D. V. e Duarte, J. B., 2007. Precisão e Controle Experimental de Qualidade em Experimentos de Avaliação de Cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, V.37, N.3, P.182-194.

Tomaselli, I., 2000. Processing Young *Eucalyptus*. In: The Future of Eucalypts for Wood Products, Launceston, Tasmania. Proceedings...Launceston: IUFRO, P.167-174.

Vencovsky, R.; Barriga, P., 1992. Genética Biométrica no Fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 486p.

EFFECTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y TEMPERATURA SOBRE EL DESPLIEGUE FOLIAR DE GENOTIPOS DE *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* E HÍBRIDOS CON *Eucalyptus camaldulensis*

Pincheira, Matías¹² y Rubilar, Rafael¹³

RESUMEN

En especies de rápido crecimiento, el área foliar (AF) permite comparaciones de productividad eficientes entre individuos creciendo bajo condiciones de alta y baja disponibilidad de recursos. Su incremento absoluto se relaciona con factores tales como el agua disponible en el suelo, temperatura, radiación incidente, fotoperiodo y fertilidad del suelo, y se correlaciona directamente con la productividad primaria potencial volumétrica y de biomasa total.

No obstante, a diferencia de lo ocurrido con muchas especies de coníferas, en *Eucalyptus* el análisis del efecto de la modificación de la disponibilidad de recursos del sitio sobre el despliegue foliar es incipiente, aun cuando el conocer este efecto pudiese minimizar los amplios márgenes de error asociados a los actuales criterios de selección genética, identificando especies, variedades y/o genotipos con mayor flexibilidad y plasticidad ante factores de estrés.

En este contexto, esta investigación analiza el incremento y senescencia foliar de diez genotipos de *Eucalyptus*, bajo dos condiciones de humedad de suelo, con y sin riego, establecidos en el secano interior de la Región del Bio Bio. El conjunto incluye un *E. nitens* de origen semilla; seis *E. globulus*, dos de baja, dos de media y dos de alta productividad volumétrica; y tres híbridos (*E. nitens* × *E. globulus*, *E. camaldulensis* × *E. globulus* y *E. nitens* × *E. camaldulensis*). Para ello, en una muestra de ramas seleccionadas en la primera temporada de crecimiento en forma no destructiva se cuantificó los incrementos y decrecimientos absolutos y relativos de área foliar, por medio de relaciones alométricas establecidas entre las dimensiones lineales de hoja y rama, y su área foliar individual y total, respectivamente.

El objetivo general del estudio fue establecer la fenología y el efecto de la disponibilidad hídrica y temperatura sobre el despliegue foliar de genotipos de *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* e híbridos con *E. camaldulensis*.

Sin riego se identificaron cuatro periodos en el despliegue de superficie fotosintética, incremento inicial después del establecimiento, receso vegetativo, crecimiento de segunda temporada y de senescencia y abscisión foliar. Con riego se observaron los dos primeros periodos, sin ser notoria una reactivación del desarrollo de segunda temporada, y finalmente el cuarto de senescencia. Los individuos del sitio con riego resultaron mucho más sensibles a cambios climáticos, cuya fase de recesión absoluta comenzó 30 días antes. Evaluado el efecto de la temperatura media acumulada (°C) sobre el despliegue foliar de rama (cm²), fueron identificados grupos de genotipos con alta y baja sensibilidad a bajas temperaturas.

Palabras clave: *Eucalyptus*, Rápido crecimiento, Alometría, Estrés hídrico, Sensibilidad al frío.

¹² Instituto Forestal, Sede Biobío, Concepción, Chile, mpincheira@infor.cl

¹³ Fac. Cs. Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

SUMMARY

In fast-growing species, leaf area (AF) enables efficient productivity comparisons between individuals growing under conditions of high and low availability of resources. Its absolute increase is related to factors such as the available water in the soil, temperature, radiation incident, photoperiod, soil fertility, and directly correlates with the potential primary volumetric productivity and total biomass.

However, unlike what occurred with many species of conifers, in Eucalyptus analysis of the effect of changing the availability of site resources on deployment leaf is emerging, although knowing this effect would minimize the wide margins of error current associated with genetic selection criteria, identifying species, varieties and / or genotypes with greater flexibility and plasticity to stress factors.

In this context, this research analyzes the increase and leaf senescence in ten genotypes of *Eucalyptus*, under two soil moisture conditions, with and without irrigation, established in the dry land areas of the Bio Bio Region. The set includes an *E. nitens* seed source; six *E. globulus*, two low, two medium and two high volumetric productivity; and three hybrids (*E. nitens* × *E. globulus*, *E. camaldulensis* × *E. globulus* and *E. nitens* × *E. camaldulensis*). For this, in a sample of branches selected in the first growing season non-destructive measurements of increases and decreases absolutes and relative leaf area were made using allometric relationships established between the linear dimensions of leaf and branch, and individual and total leaf area, respectively.

The overall objective of the study was to establish the phenology and the effect of temperature and water availability on the deployment leaf in genotypes of *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* and hybrids with *E. camaldulensis*.

Without irrigation was identified four periods in the deployment of photosynthetic surface, initial increase after the establishment, recess vegetative, second season growth, and leaf senescence and abscission. With irrigation, was observed the first two periods, without significant development of reactivation second season, and finally the fourth of senescence. The individuals on irrigated site were much more sensitive to climate change, absolute phase of recession which started 30 days ago. Evaluated the effect of cumulative average temperature (°C) on the deployment of branch leaf (cm²) groups of genotypes were identified with high and low sensitivity to low temperatures.

Keywords: *Eucalyptus*, Fast growth, Allometry, Water stress, Sensitivity to cold.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de las mejoras y respuestas genéticas de plantaciones forestales clonales es tema de discusión y perfeccionamiento constante. Los rápidos avances en la selección de la especie y genotipo a establecer centrados en superar las restricciones del sitio que limitan el crecimiento implican un aumento continuo en la eficiencia en el uso de los recursos, la productividad de los bosques, y la rentabilidad económica de la actividad forestal (Stape *et al.* 2004, Boyden *et al.* 2008, Gonçalves *et al.* 2008).

En este sentido, la selección genética tradicional basada en la selección de individuos con características deseadas resulta poco flexible a condiciones variables del medio. Esto se debe a que la precisión de las proyecciones empíricas de productividad quedan restringidas a sitios de establecimiento particulares, siendo necesario para lograr una buena calibración de los modelos de crecimiento del seguimiento de individuos y rodales hasta edades avanzadas o final de la rotación, el empleo de variables complementarias que permitan minimizar los amplios márgenes de error de las proyecciones hechas a partir de edades tempranas (Battaglia *et al.*, 1998; Peng 2000, Peng *et al.* 2002; Skovsgaard y Vanclay, 2008; Miehle *et al.*, 2009).

Una de las variables complementarias es el área foliar (AF), ya que como indicadora de adaptabilidad a las condiciones del sitio permite aproximar parámetros tales como la productividad de biomasa de planta individual y total de rodal.

El AF puede ser determinada, modelada y relacionada en el tiempo directamente con las tasas de incremento y productividad primaria potencial volumétrica o de biomasa total (Medhurst y Beadle, 2001; Whitehead y Beadle, 2004).

El AF puede ser cuantificada en todas las etapas de crecimiento y su modelación permite cuantificar la flexibilidad y plasticidad de la especie, variedad y/o genotipo, a distintos niveles de disponibilidad de recursos y estrés. Esto debido a que el incremento foliar depende de factores determinantes como el agua disponible en el suelo, temperatura, radiación incidente, fotoperiodo y fertilidad del suelo. Tal que, en el caso de especies de rápido crecimiento, en especial en aquellas de alto interés pertenecientes a los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*, permite comparar la eficiencia en crecimiento de genotipos e individuos establecidos en sitios contrastantes (Allen and Albaugh, 1999; Merchant *et al.*, 2007; Boyden *et al.*, 2008; Hubbard *et al.*, 2010).

En el caso de plántulas de *E. globulus* creciendo bajo condiciones controladas se ha demostrado que una disminución en el agua disponible y un aumento de la temperatura induce la acumulación de solutos en el medio intracelular, esto modifica la turgencia restringiendo la expansión celular. Así, las consecuentes variaciones en permeabilidad y resistencia de las membranas intracelulares, plasmáticas y paredes celulares, modifican los mecanismos de difusión, y el transporte en y entre células adyacentes, lo que a nivel agregado de tejido se traduce en una disminución del crecimiento total (White *et al.*, 2000; Wikberg and Ögren, 2007).

Como tendencia general, se ha observado que a mayor disponibilidad de recursos como agua y luz, es de esperar un mayor crecimiento y tamaño a nivel celular, de tejido y de componente de biomasa (foliar, fustal y radicular). Sin embargo, la cuantificación de la magnitud de los diferenciales de respuesta y su correlación con la productividad total de la planta en el largo plazo, en especial sobre especies y genotipos de *Eucalyptus*, constituye una materia de estudio incipiente (Pita and Pardos, 2001).

En clones de *E. globulus* se ha observado una tendencia general a que la disminución de la disponibilidad hídrica y temperatura constituyen precursores de reducción del crecimiento total de las hojas. Esta reducción sumada a un aumento de la regulación estomática inicial frente a

condiciones de estrés hídrico constituye un mecanismo de adaptación que permite controlar la deshidratación, pero hasta un punto en que el equilibrio hídrico interno de la planta se rompe determinado cambios irreversibles de degeneración y muerte celular (Osorio *et al.*, 1998; Guarnaschelli *et al.*, 2006; Wikberg and Ögren, 2007).

Sin embargo, aun cuando la productividad está claramente vinculada a la intercepción lumínica y consecuentemente con la masa de follaje e índice de área foliar, a diferencia de lo ocurrido en especies de género *Pinus*, el conocimiento respecto al efecto de la modificación de los recursos del sitio sobre la fenología del despliegue foliar de *Eucalyptus* es escaso (Sampson *et al.*, 2003; Albaugh *et al.*, 2010).

En *Eucalyptus*, la gran parte de la documentación se centra en evaluaciones de carácter puntual o en intervalos de tiempo que no reflejan las variaciones interanuales del crecimiento. Del mismo modo, las diferencias inter-específicas de crecimiento están influenciadas en su mayoría por diferencias en las características edáficas de los sitios de establecimiento, lo que impide la obtención de conclusiones certeras respecto a la real tolerancia de variedades y/o genotipos específicos a factores de estrés como la sequía, anegamiento, luminosidad, disponibilidad nutricional y salinidad (Farrel *et al.*, 1996; Medhurst *et al.*, 1999; White *et al.*, 2000; Merchant *et al.*, 2007).

En este sentido, estudios que identifiquen y cuantifiquen estrategias de crecimiento y captura lumínica similares o distintas, y su relación en el tiempo con la sensibilidad de la especie y/o genotipo de *Eucalyptus* a cambios disponibilidad hídrica y temperatura no han sido realizados previamente.

Por lo tanto, preguntas como cuál es el efecto del cambios en la disponibilidad hídrica del suelo sobre el patrón fenológico de despliegue foliar, cómo varía el patrón de despliegue foliar entre especies y genotipos de *Eucalyptus* con distintos niveles de sensibilidad frío y sequía, y cuál es la magnitud de la variación en producción foliar según especie y genotipo de *Eucalyptus* creciendo bajo condiciones de alta y baja disponibilidad hídrica del suelo, no han sido respondidas.

OBJETIVOS

El objetivo general del estudio fue establecer la fenología y el efecto de la disponibilidad hídrica y temperatura sobre el despliegue foliar de genotipos de *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* e híbridos con *E. camaldulensis*.

Los objetivos específicos en tanto fueron:

Caracterizar la fenología foliar de *Eucalyptus spp.* bajo condiciones de alta y baja disponibilidad hídrica de suelo, durante las dos primeras temporadas de crecimiento.

Establecer el efecto de la disponibilidad hídrica y temperatura sobre el despliegue foliar de genotipos de *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* e híbridos con *E. camaldulensis*.

MATERIAL Y MÉTODO

Material Vegetal

Se consideró un total diez genotipos de *Eucalyptus* (Cuadro N° 1), correspondientes a 240 plantas viverizadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Forestal Mininco SA, Los

Ángeles, Chile. Las plantas fueron producidas a partir de estacas en contenedor de 110 cm³. Como sustrato se utilizó corteza de *Pinus radiata* D. Don compostada.

Cuadro N° 1
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL GENÉTICO

N°	Especie	Codificación	Descripción *
1	<i>E. globulus</i>	EgA ₁	Productividad alta
2	<i>E. globulus</i>	EgA ₂	Productividad alta
3	<i>E. globulus</i>	EgM ₁	Productividad media
4	<i>E. globulus</i>	EgM ₂	Productividad media
5	<i>E. globulus</i>	EgB ₁	Productividad baja
6	<i>E. globulus</i>	EgB ₂	Productividad baja
7	<i>E. nitens</i>	En	Semilla
8	<i>E. nitens</i> x <i>E. globulus</i>	EnxEg	Clon híbrido
9	<i>E. nites</i> x <i>E. camaldulensis</i>	EnxEcam	Clon híbrido
10	<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. globulus</i>	EcamxEg	Clon híbrido

* Productividad determinada previamente en ensayos clonales.

Descripción del Sitio de Establecimiento

El estudio fue establecido en el Huerto Semillero Chumulco, propiedad de la empresa Forestal Mininco SA, localizado en el seco interior de la provincia del Bio Bio, Chile, entre 37°45' LS y 72°18' LO, 178 km al sureste de la ciudad de Concepción. Sitio con clima templado cálido, estación seca y lluviosa de extensión semejantes, precipitación media anual de 1.200 mm, temperatura media anual de 13,1°C, media máxima mensual de 18°C y media mínima mensual de 7°C. El suelo corresponde a la serie Collipulli, perteneciente al grupo de los rojo arcillosos (Alfisolos), desarrollados a partir de material piroclástico antiguo, de textura franco arcillosa a arcillosa y estructura granular a bloques subangulares, color pardo rojizo a rojizo, moderadamente profundo a profundo, muy plástico, con una gran cantidad de agua aprovechable, nivel moderado a alto de materia orgánica (4 - 8%), acidez fuerte a moderada (pH 5-6) y baja densidad aparente (1,01 g/cm³).

Diseño Experimental y Mediciones

Los diez genotipos de *Eucalyptus* spp. fueron establecidos en agosto de 2008, a una densidad de 1.667 plantas/ha, en dos sitios adyacentes (similares condiciones edafoclimáticas). El primero de baja disponibilidad hídrica del suelo durante el periodo estival (sin riego) y el segundo de alta disponibilidad hídrica (con riego), regulada mediante riego por goteo entre los meses de septiembre y marzo. Se consideró un diseño de bloques adyacentes completos al azar, con restricción de no adyacencia de genotipos entre bloques, en un arreglo factorial de tratamientos; 4 rametos x 10 genotipos x 3 bloques x 2 condiciones de humedad.

Una cuantificación y comparación intensiva del despliegue foliar de los genotipos de *Eucalyptus* fue realizada mediante mediciones quincenales (\pm 5 días) durante las dos primeras temporadas de crecimiento en terreno (entre el 20 diciembre de 2008 y el 05 de agosto de 2010) sobre una selección aleatoria de 60 plantas (1 rameto x 10 genotipos x 3 bloques x 2 condiciones de humedad). En ellas se monitoreó en forma no destructiva el incremento y senescencia absoluta

de la superficie foliar a nivel de hoja y agregada de rama. Se cuantificó el área foliar de la primera rama de crecimiento inmediato postestablecimiento desarrollada en orientación sobre hilera, y la primera desarrollada entre hileras.

El procedimiento no destructivo repetido en cada oportunidad de medición implicó el uso de relaciones alométricas para la estimación del área foliar a nivel de hoja individual y agregado de rama, considerando como base sus dimensiones lineales. Se cuantificó la elongación de cada hoja, en longitud máxima ($L \pm 0.1$ cm) y ancho máximo ($A, \pm 0.1$ cm). La senescencia de cada hoja fue registrada cuando el porcentaje de superficie marchita (seca) o con degradación mecánica fue mayor al 50% del área total, en su defecto se identificó la cicatriz dejada en la rama por la abscisión de la hoja.

Para la estimación del área foliar de hoja individual se utilizó el modelo básico de regresión lineal cuya variable explicativa la conformaron combinaciones de sus dimensiones (largo y ancho máximos). Los valores de AF de hoja de referencia para calibración del modelo fueron obtenidos mediante análisis fotográfico. La calibración fue ejecutada durante julio de 2009 (fase invernal de recesión del crecimiento de primera temporada) y consistió en una submuestra de follaje sin daño mecánico y/o pérdida de turgencia evidente, compuesta de 120 hojas por genotipo (20 hojas \times rameto seleccionado \times genotipo \times bloque \times condición), representativas del rango de distribución de tamaños de hoja observados.

El procedimiento de obtención de los valores de calibración mediante fotografías implicó la captura de una imagen digital por hoja directamente desde la planta, similar al principio óptico de la planimetría (Osorio *et al.*, 1998). Para ello, se utilizó un cámara fotográfica *Canon A1100-IS* de 12,1 mega píxeles y una unidad de referencia rígida de color blanco de 30 x 30 cm, con cuatro referencias espaciales de 10 cm, bajo condiciones homogéneas de perpendicularidad y luminosidad. La superficie individual de cada hoja fue aislada y determinada mediante análisis fotográfico utilizando el software *SigmaScan Pro 5.0 DEMO ImageAnalysis Software* (SYSTAT, Richmond, CA, USA).

Una cuantificación continua de temperatura ambiental diaria (media, mínima y máxima, en °C) fue realizada durante el periodo de estudio utilizando una estación meteorológica (WS2-550) ubicada a 250 m lineales del ensayo.

Análisis Estadístico

Análisis de valores foliares relativos acumulados fue utilizado para establecer gráficamente la existencia de fases en periodo de despliegue de área foliar de primera y segunda temporada de crecimiento. El efecto de la disponibilidad hídrica del suelo sobre la extensión del periodo del despliegue foliar relativo de primera temporada fue establecido por genotipo mediante modelación no lineal. Para ello, fueron establecidas diferencias significativas entre los parámetros modelo logístico [1], donde 'a' representa la tasa de incremento relativa (I_{max}), y 'b' representa la escala de tiempo relativo o periodo de tiempo relativo requerido para lograr el 100 % del despliegue foliar (T_{max}).

$$y = \frac{100}{(1 + b e^{-ax})} \quad [1]$$

Donde: y: variable explicada (incremento relativo de área foliar media de rama, %)
x: variable explicatoria (tiempo relativo, %)

a y b : parámetros de escala y forma ($x \geq a$, $b > 0$), y e : base de los logaritmos naturales.

Similar análisis fue realizado para determinar el efecto de la temperatura media acumulada ($^{\circ}\text{C}$) sobre el despliegue foliar de rama (cm^2). Para ello, fueron incluidos como variable explicatoria en el modelo [1] los valores de temperatura media acumulada relativa del total de temperatura acumulada durante la primera temporada de crecimiento.

La totalidad de los análisis fue realizada utilizando el software estadístico SAS 9.1 (SAS Institute Inc., NC, USA, 2002).

RESULTADOS

Evaluado el efecto de la disponibilidad hídrica del suelo sobre el incremento foliar acumulado fueron identificadas fases en el despliegue foliar por condición. Con riego, se identificaron tres fases i) incremento inicial, ii) receso vegetativo invernal, y iii) senescencia y abscisión.

Como tendencia general, para todos los genotipos, la fase i) se extendió desde diciembre de 2008 (primera medición) hasta mayo de 2009, los genotipos En y EnxEc, culminaron el incremento inicial anticipadamente (abril 2009). Culminada la fase ii) se observó la pérdida del follaje acumulado sobre todos los genotipos analizados (Figura N° 1).

Sin riego, se identificó cuatro fases en el despliegue foliar i) incremento inicial, ii) recesión vegetativa invernal, iii) incremento de segunda temporada y iv) senescencia y abscisión. Sobre los genotipos En y EnxEc se observó una mayor extensión de la fase de incremento inicial, cuya diferencia resultó superior a los 30 días (20 mayo 2009 – 05 junio 2009), respecto a la condición con riego. Todos los genotipos evaluados presentaron incremento de segunda temporada (Figura N° 1).

En ambas condiciones de crecimiento el genotipo EcxEg resultó altamente sensible a las condiciones térmicas del sitio. Con riego, perdió el 90 % follaje acumulado de primera temporada, entre junio y octubre de 2009. En similar periodo, sin riego, perdió el 100% del follaje acumulado. La pérdida del 10% restante, con riego, ocurrió entre marzo y mayo de 2010 (Figura N° 1).

Evaluado el incremento relativo de área foliar de primera temporada de crecimiento por genotipo y condición, relativizado respecto al periodo de tiempo comprendido entre la primera medición (20 diciembre 2008) y la última medición de primera temporada de crecimiento (05 junio 2009), se identificó grupos de genotipos con similar tasa de incremento relativo (I_{max}) (parámetro a en el modelo [1]), y similar escala de tiempo relativo (T_{max}) (parámetro b en el modelo [1]) (Cuadro N° 2).

Con riego, los genotipos EgA1, EgM1, EgM2, EgB2, En, EnxEg, EnxEc conformaron el Grupo "a" con similar I_{max} , seguidos de los genotipos EgA2 y EgB1 (Grupo "b"), el genotipo EcxEg (Grupo "c") presentó la mayor tasa de incremento relativa foliar. Sobre el T_{max} se identificaron dos grupos, el primero conformado por los genotipos EgA1, EgA2, EgM2, En, EnxEg y EncEc, y el segundo conformado por los genotipos EgM1, EgB1, EgB2 y EcxEg (Cuadro N° 2).

Sin riego, se observó un gran grupo de genotipos con similar I_{max} , solo EnxEc resultó significativamente inferior al resto (Cuadro N° 2).

Evaluado el T_{max} se estableció la existencia de tres grupos de genotipos, el primero conformado por el genotipo EgM2 y EnxEc, el segundo por EgA1, EgA2, EgM1, EgB1, EnxEg y EcxEg, y el tercero compuesto por EgB2 y En. Entre condiciones de disponibilidad hídrica los genotipos EgA2, EgM1, EgB1, EgB2, EnxEg, EnxEc y EcxEg variaron en I_{max} , mientras que EgM1, EgM2, EgB1, EgB2 y EcxEg variaron en T_{max} (Cuadro N° 2).

Evaluado el efecto de la temperatura media acumulada sobre el incremento relativo de área foliar media de rama se repitieron las tendencias observadas respecto al tiempo. Con riego, los genotipos En y EnxEc denotaron una menor temperatura media acumulada para lograr el máximo incremento foliar versus la condición sin riego.

La diferencia fue cercana a los 450°C, equivalentes al 15 % (aprox.) del total de temperatura media acumulada durante la fase de crecimiento inmediato (Figura N° 1).

Culminado el crecimiento de primera temporada del genotipo EgA1, a similar temperatura acumulada, el incremento relativo de área foliar con riego fue cerca de un 20 % mayor a lo alcanzado en condición sin riego. Sin embargo, en términos absolutos la diferencia foliar fue aproximadamente de 2.264,4 cm²/rama, siendo que con riego el máximo alcanzado fue de 2.994,2 cm²/rama. En el caso de los genotipos EgA2, EgM1, EgM2, EgB1, EgB2, En, EnxEg, EnxEc y EcxEg, las diferencias absolutas fueron de 731,1; 3.306,2; 2.190,5; 3.948,0; 4.455,1; 4.222,7; 2.744,3; 1.477,8 y 3.508,6 cm²/rama, respectivamente, de un total alcanzado con riego de 1.595,7; 3.793,0; 2.785,8; 4.64,6; 5.041,6; 5.216,4; 4.073,8; 2.412,4 y 4.319,4 cm²/rama, respectivamente.

Cuadro N° 2
PARÁMETROS DEL MODELO DE CRECIMIENTO LOGÍSTICO [1] AJUSTADO PARA EL DESPLIEGUE DE
ÁREA FOLIAR RELATIVA MEDIA DE RAMA DURANTE LA PRIMERA TEMPORADA CRECIMIENTO.

Genotipo	Condición			
	Con riego		Sin riego	
	a	b	a	b
EgA1	0,06578* cA	7,72240* bA	0,06160* aA	8,76680* bA
EgA2	0,08198* bA	12,1485* bA	0,06206* aB	9,08190* bA
EgM1	0,07292* cA	19,3840* aA	0,05626* aB	9,75060* bB
EgM2	0,06685* cA	10,8038* bA	0,05958* aA	4,78410* cB
EgB1	0,08532* bA	35,8181* aA	0,05821* aB	10,0996* bB
EgB2	0,08119* cA	28,7926* aA	0,06127* aB	15,7874* aB
En	0,07740* cA	12,5275* bA	0,07005* aA	18,7487* aA
EnxEg	0,07948* cA	13,4737* bA	0,05707* aB	10,7583* bA
EnxEc	0,06675* cA	9,67140* bA	0,04890* bB	5,31230* cA
EcxEg	0,10985* aA	51,6801* aA	0,06731* aB	9,33660* bB

Modelo [1]: $y=100/(1+b*exp(-a*x))$

Donde:

y: área foliar relativa acumulada durante la primera temporada de crecimiento (%).

x: día de medición relativo respecto al periodo comprendido entre la primera medición (20-12-2008) y la última medición de primera temporada de crecimiento (05-06-2009)

a y b: parámetros de ajuste (tasa de incremento, y escala de tiempo, respectivamente).

exp: inversa del logaritmo natural.

Letras minúsculas distintas indican deferencias de parámetro entre genotipos por condición de disponibilidad hídrica.

Letras mayúsculas distintas indican deferencias de parámetro por genotipo entre condiciones de disponibilidad hídrica.

* Significativo (95 % de confianza).

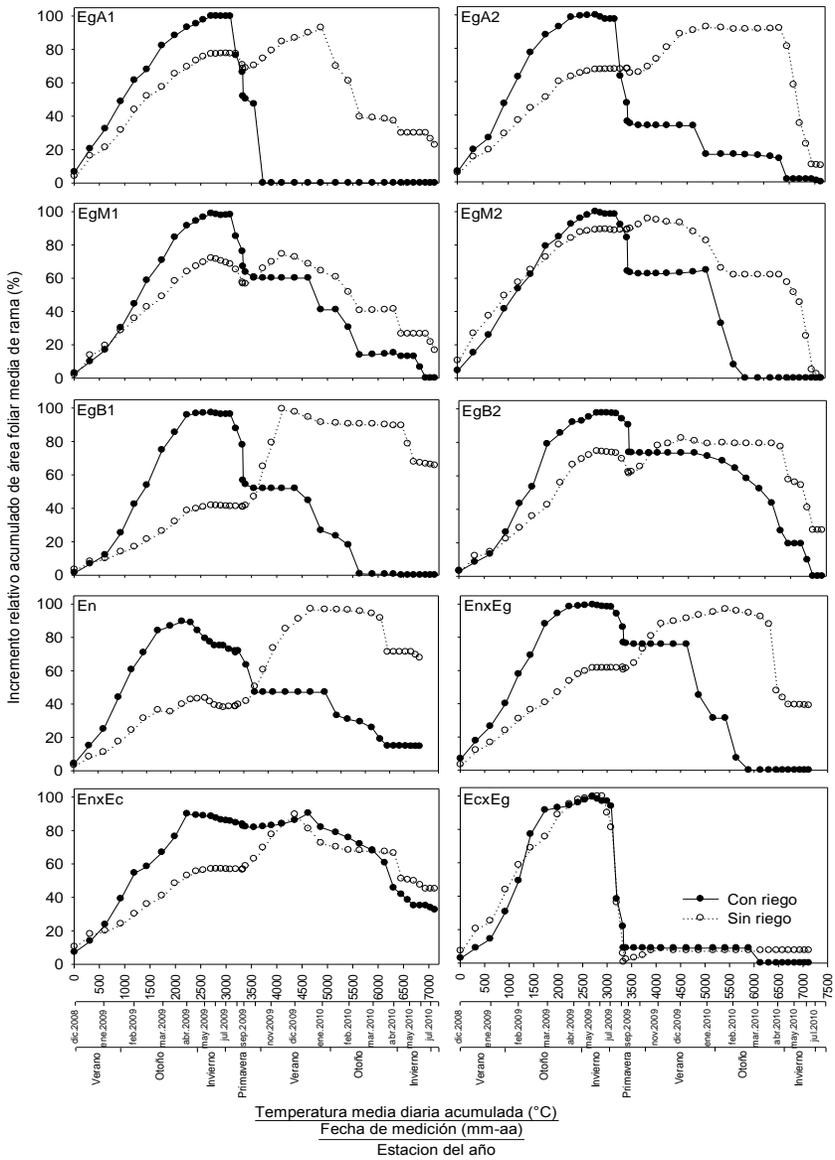


Figura N° 1
INCREMENTO RELATIVO DE ÁREA FOLIAR DE *Eucalyptus* spp. DURANTE LA PRIMERA Y SEGUNDA TEMPORADA DE CRECIMIENTO, BAJO CONDICIONES DE ALTA Y BAJA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL SUELO (CON Y SIN RIEGO).

Evaluado el incremento relativo de área foliar medio de rama respecto a la temperatura acumulada media diaria relativizada al total de temperatura acumulada durante la fase de incremento inicial, con riego, para ambos parámetros del modelo [1] fueron identificados los mismos grupos de genotipos establecidos previamente respecto al periodo de tiempo relativo (T_{max}). Solo los genotipos EgA2 y EgB2 se intercambiaron de grupo de l_{max} (parámetro a).

Del mismo modo, entre condiciones de disponibilidad resultaron similares los genotipos que variaron en tasa de incremento relativa, solo los genotipos EgM2, EgB1 y EcxEg, variaron significativamente en temperatura máxima relativa necesaria para alcanzar el 100% incremento foliar de primera temporada (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
PARÁMETROS DEL MODELO DE CRECIMIENTO LOGÍSTICO [1] AJUSTADO PARA EL DESPLIEGUE DE
ÁREA FOLIAR RELATIVA MEDIA DE RAMA DE PRIMERA TEMPORADA DE CRECIMIENTO SEGÚN
TEMPERATURA MEDIA ACUMULADA

Genotipo	Condición			
	Con riego		Sin riego	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
EgA1	0,057479* bA	8,20730* bA	0,054820* aA	9,63550* bA
EgA2	0,070912* bA	12,8741* bA	0,055299* aB	10,0232* bA
EgM1	0,065195* bA	22,3516* aA	0,051248* aB	11,1679* bA
EgM2	0,059167* bA	11,8755* bA	0,052074* aA	5,01520* cB
EgB1	0,075818* aA	41,8791* aA	0,052910* aB	11,5843* bB
EgB2	0,071938* aA	33,1406* aA	0,056636* aB	19,3007* aA
En	0,067164* bA	13,3302* bA	0,063433* aA	22,2803* aA
EnxEg	0,069242* bA	14,5235* bA	0,052454* aB	12,6186* bA
EnxEc	0,059058* bA	10,5643* bA	0,044226* bB	5,81370* cA
EcxEg	0,094623* aA	55,6283* aA	0,059265* aB	10,1149* bB

Modelo [1]: $y=100/(1+b*exp(-a*x))$

Donde:

y: área foliar media de rama relativa acumulada durante la primera temporada (%).

x: día de medición relativo respecto al periodo comprendido entre la primera medición (20-12-2008) y la última medición de primera temporada de crecimiento (05-06-2009).

a y b: parámetros de ajuste (tasa de incremento, y escala de temperatura, respectivamente).

exp: inversa del logaritmo natural.

Letras minúsculas distintas indican deferencias de parámetro entre genotipos por condición de disponibilidad hídrica.

Letras mayúsculas distintas indican deferencias de parámetro por genotipo entre condiciones de disponibilidad hídrica.

* Significativo (95 % de confianza).

DISCUSIÓN

El efecto significativo de la disponibilidad hídrica y temperatura sobre la fenología del despliegue relativo y absoluto de área foliar observado es coincidente con lo descrito para el género en su lugar de origen. Tal que, en plantaciones de *E. globulus* y *E. nitens* establecidas en Australia han sido observadas diferencias significativas en el índice de área foliar atribuibles a la interacción de los factores disponibilidad hídrica y temperatura media anual (Bataglia *et al.*, 1996, Bataglia *et al.*, 1998).

Sin embargo, las fases fenológicas del despliegue foliar entre la sabana Australiana (Región de Darwin) y el sitio de estudio (secano interior, Región del Bio Bio, Chile) son disímiles. En el primer caso, se describe la existencia de un patrón de despliegue foliar compuesto por una fase de pleno crecimiento durante el periodo de transición entre la estación seca y la lluviosa, seguida de una fase de recesión de crecimiento durante la época de mayor precipitación, y una fase que concentra la pérdida de follaje a mediados de la estación seca siguiente, fenología de crecimiento típica de plantas de climas tropicales. Mientras que en el segundo caso (sin riego), se describen cuatro fases regulares (i., ii., iii., y iv.) cuyos límites de extensión se explican por las variaciones climáticas regulares típicas de climas templado-cálidos.

En el sitio de estudio una disminución de las temperaturas medias acumuladas (acumulación de temperaturas medias más bajas) asocian una disminución de los incrementos foliares, e inicio de los periodos de recesión vegetativos de primera y segunda temporada de crecimiento (Figura N° 1). La inexistencia de una segunda temporada de incremento foliar bajo condiciones del alta disponibilidad hídrica (con riego) se explica por el crecimiento exponencial de la planta completa, observándose luego de la fase de recesión vegetativa invernal una concentración de la actividad meristemática en los estratos superiores del dosel, los que concentran la captura lumínica disminuyendo e inhibiendo la actividad fotosintética del follaje inferior, el cual inicia su abscisión.

Las diferencias generales observadas respecto extensión del periodo de tiempo requerido por los genotipos En y EnxEc para desplegar el 100% del AF resultan coincidentes con las observadas en otras especies de *Eucalyptus*. Tal que, en individuos de *E. miniata* y *E. tetrodonta* han sido cuantificadas diferencias significativas en la longitud del periodo de tiempo requerido para desplegar el máximo de área foliar, comenzando anticipadamente y siendo más corto en el primer caso (Williams *et al.* 1997). Del mismo modo, las diferencias absolutas en incremento foliar acumulado total observadas entre En y los restantes genotipos coincide con un mayor crecimiento previamente descrito para la especie bajo similares condiciones de temperaturas comparado con *E. globulus*, el cual ha sido caracterizado con una mayor incidencia de daño por helada (Bataglia *et al.*, 1996, Bataglia *et al.*, 1998).

Del mismo modo, la reducción y homogeneidad de las tasas de incremento relativas observadas durante la fase de crecimiento inmediato sin riego denotan una adaptación significativa y general de los genotipos evaluados a las condiciones de disponibilidad hídrica (Cuadro N° 2). Esto favorecen la minimización de la resistencia de la copa al atenuar el efecto desecante del viento mediante la reducción de la superficie foliar agregada de rama, que combinada con un aumento cuticular, aumenta la eficiencia de la disipación de la temperatura cuando la radiación incidente es máxima, favoreciendo la mantención del estado hídrico (Farrell *et al.* 1996, King 1999, Allen, 2000, Chaves *et al.*, 2003, Allen *et al.*, 2005).

Por otra parte, la existencia de tres grupos disímiles en T_{max} , observados sin riego, es reflejo directo de variaciones en susceptibilidad de los genotipos integrantes de cada grupo a las variaciones térmicas del sitio, lo cual se valida establecer una igual conformación de grupos cuando el incremento relativo de área foliar se explica en función de la temperatura media acumulada (Cuadros N° 2 y N° 3).

CONCLUSIONES

Un aumento en la disponibilidad hídrica del suelo favorece un aumento en el incremento de área foliar absoluta (cm^2) media de rama de *Eucalyptus*. Bajo condiciones de alta disponibilidad de agua en el suelo se observa solo una temporada de incremento foliar en ramas de primera

temporada, mientras que bajo condiciones de sequía se observa una reactivación del incremento de segunda temporada.

Bajo las condiciones de sitio analizadas es posible observar un efecto positivo de la disponibilidad hídrica sobre la tasa de incremento relativo de área foliar media de rama (%). Mientras que una reducción el periodo de tiempo y temperatura media diaria acumulada necesaria para alcanzar el máximo foliar se observa como respuesta particular según genotipo analizado, pudiendo ser identificados aquellos que requieren menor tiempo y menor temperatura acumulada para desplegar el 100 % de la superficie por temporada de crecimiento.

RECONOCIMIENTOS

El financiamiento para este estudio fue otorgado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Proyecto FONDECYT 1085093. Se agradece la colaboración otorgada por Forestal Mininco SA. Se agradece el financiamiento de CONICYT por la beca otorgada para estudios de Magister en Chile (MP). Se agradece el apoyo brindado por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción y de la Cooperativa de Productividad Forestal (FPC).

REFERENCIAS

Albaugh, T., Allen, L., Stape, J., Fox, T., Rubilar, R., Carlson, C. and Pezzutti, R., 2010. Leaf area duration in natural range and exotic *Pinus taeda*. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 224-234.

Allen, H., Albaugh, T., 1999. Ecophysiological basis for plantation production: A Loblolly Pine case study. *Bosque* 20(1): 3-8.

Allen, R. G., 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of Hydrology* 229: 27-41.

Allen, R., Pereira, L., Smith, M., Raes, D. and Wright, J., 2005. FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131: 2-13.

Battaglia, M., Beadle, C. and Loughhead, C., 1996. Photosynthetic temperature responses of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. *Tree Physiology* 16: 81-89.

Battaglia, M., Cherry, M., Beadle, L., Sands, J. and Hingston, A., 1998. Prediction of leaf area index in Eucalypt plantations: Effects of water stress and temperature. *Tree Physiology* 18: 521-528.

Boyden, S., Binkley, D. and Stape, J., 2008. Competition among *Eucalyptus* trees depends on genetic variation and resource supply. *Ecology* 89(10): 2850-2859.

Chaves, M., Maroco, J. and Pereira, J., 2003. Understanding plant responses to drought- from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30: 239-264

Farrell, R., Bell, D., Akilan, K. and Marshall, J., 1996. Morphological and Physiological Comparisons of Clonal Lines of *Eucalyptus camaldulensis*. I. Responses to Drought and Waterlogging. *Australian Journal Plant Physiology* 23: 497-507.

Gonçalves, J., Stape, J., Laclau, J., Bouillet, J. and Ranger, J., 2008. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing Eucalypt plantations: the Brazilian experience. *Southern Forests* 70(2): 105-118.

- Guarnaschelli, A, Prystupa, P. and Lemcoff, J., 2006.** Drought conditioning improves water status, stomatal conductance and survival of *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata* seedlings. *Annals of forest Science* 63: 941-950.
- Hubbard, R, Stape, J., Ryan, M., Almeida, A. and J Rojas, J., 2010.** Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing *Eucalyptus* plantations. *Forest Ecology and Management* 259: 1714–1721.
- King, D., 1999.** Juvenile Foliage and the Scaling of Tree Proportions, with Emphasis on *Eucalyptus*. *Ecology* 80(6): 1944-1954.
- Medhurst, J., Battaglia, M., Cherry, M., Hunt, M., White, D. and Beadle, C., 1999.** Allometric relationships for *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden plantations. *Trees* 14: 91-101.
- Medhurst, J. and , Beadle, C., 2001.** Crown structure and leaf area index development in thinned and unthinned *Eucalyptus nitens* plantations. *Tree Physiology* 21: 989-999.
- Merchant , A., Callister, A., Arndt, S., Tausz, M. and Adams, M., 2007.** Contrasting Physiological Responses of Six *Eucalyptus* Species to Water Deficit. *Annals of Botany* 100: 1507-1515.
- Miehle, P., Battaglia, M., Sands, P., Forrester, D., Feikema, P., Livesley, S., Morris, J. and Arndt, S., 2009.** A comparison of four process-based models and a statistical regression model to predict growth of *Eucalyptus globulus* plantations. *Ecological Modelling* 220: 734–746.
- Osório J, Osório, M., Chaves, M. and Pereira, J., 1998.** Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology* 18: 363-373.
- Peng, C., 2000.** Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management* 132: 259-279.
- Peng, C, Liu, J., Dang, Q., Apps, M. and Jiang, H., 2002.** TRIPLEX: A generic hybrid model for predicting forest growth and carbon and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 153: 109-130.
- Pita, P., and Pardos, J., 2001.** Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. *Tree Physiology* 21: 599-607.
- Sampson, D., Albaugh, T., Johnsen, K., Allen, H. and Zarnoch, S., 2003.** Monthly leaf area index estimates from point in time measurements and needle phenology for *Pinus taeda*. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 2477-2490.
- Skovsgaard, J. and Vanclay, J., 2008.** Forest site productivity: A review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81(1): 13-29.
- Stape, J., Binkley, D. and Ryan, M., 2004.** *Eucalyptus* production and the supply, use and the efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management* 193: 17-31.
- White, D., Turner, N. and Galbraith, J., 2000.** Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiology* 20: 1157-1165.
- Whitehead, D. and Beadle, C., 2004.** Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: A review. *Forest Ecology and Management* 193: 113-140.
- Wikberg, J. and Ögren, E., 2007.** Variation in drought resistance, drought acclimation and water conservation in four willow cultivars used for biomass production. *Tree Physiology* 27: 1339-1346
- Williams, J., Myers, B., Muller, W., Duff, G. and Eamus, D., 1997.** Leaf Phenology of Woody Species in a North Australian Tropical Savanna. *Ecology* 78(8): 2542-2558.

RESUMEN

Los eucaliptos son unas 950 especies pertenecientes a la familia *Myrtaceae*, muy mayoritariamente nativas y endémicas de Australia. Debido a su gran variedad de características de tamaño y morfología, diversas clasificaciones taxonómicas han sido desarrolladas y la más aceptada actualmente para este gran grupo de plantas de los eucaliptos considera tres géneros; *Angophora*, *Corymbia* y *Eucalyptus*.

Dada la amplia distribución natural del género y la capacidad de sus diferentes especies para adaptarse a una gama de condiciones climáticas, alcanzando un rápido crecimiento, los eucaliptos están entre las especies más utilizadas en el mundo en plantaciones forestales (20 millones de hectáreas) y son superadas solo por los pinos (37 millones de hectáreas).

Existen numerosas especies del género *Eucalyptus* en plantaciones forestales en los distintos continentes, sin embargo 9 son actualmente las de mayor importancia en plantaciones; *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus pellita* para climas tropicales, y *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus smithii*, para climas templados.

Palabras clave: *Eucalyptus*, Taxonomía, Distribución, Principales especies

SUMMARY

Eucalypts are some 950 species belonging to the *Myrtaceae* family, most of them native and endemic to Australia. Due to its great size and morphologic variability, a number of taxonomic classifications have been developed and currently the main acceptance is that this big plants group is composed by three genus; *Angophora*, *Corymbia* and *Eucalyptus*.

The wide natural distribution of the eucalypts species and its capacity to grow under a variety of site conditions as fast growing species are the reason why Eucalypts are among the most used species groups in planted forests around the world (20 million hectares), being surpassed only by the Pine group (37 million hectares).

A big number of eucalypts species are being used in planted forests through the continents, however 9 of them are currently the most important; *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus pellita* in tropical climates, and *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus tereticornis* and *Eucalyptus smithii*, in temperate climates.

Key words: *Eucalyptus*, Taxonomy, Distribution, Main species

INTRODUCCIÓN

Los eucaliptos son unas 950 especies (Bush, 2011) pertenecientes a la familia *Myrtaceae*, muy mayoritariamente nativas y endémicas de Australia, solo unas pocas especies tienen su distribución natural en territorios insulares en norte de Oceanía y sur de Asia; Papúa Nueva Guinea y Timor, sur de Indonesia y sur de Filipinas (Slee *et al.*, 2006) (Figura N° 1).

Son especies que se han adaptado a una gran variedad de condiciones ambientales, son los árboles dominantes en las áreas de mayores precipitaciones de Australia y tienen una presencia menor en las zonas más secas. Los bosques naturales de eucaliptos ocupan una superficie de más de 115 millones de hectáreas, sin embargo en Australia consideran esta cifra una estimación variable, dependiente de la definición de bosque.



Figura N° 1
DISTRIBUCIÓN NATURAL DE LOS EUCALIPTOS

Entre los eucaliptos hay desde grandes árboles, como *Eucalyptus regnans* F. Muell. (Mountain Ash), especie originaria del SE de Australia, Estados de Victoria (VIC) y Tasmania (TAS), y *Eucalyptus delegatensis* R. T. Baker (Alpine Ash), de similar distribución, que son considerados los árboles más altos del mundo, superando los 100 m de altura el primero, y alcanzando alturas cercanas a 100 m el segundo (Hickey *et al.*, 2000), hasta arbustos pequeños de 1 m o menos de altura, que prosperan en condiciones ambientales extremas (Brooker *et al.*, 2000).

El primer eucalipto descrito fue *Eucalyptus obliqua* L'Hér., *Sert. Angl.* (Messmate Stringybark) y su descripción la efectuó el botánico francés L'Héritier de Brutelle en 1788, quién le

dio el nombre al género, usando muestras colectadas en Tasmania por el Capitán Cook¹⁴. El nombre del género deriva del griego *eu* y *calypto*, que significa bien cubierto y se refiere al opérculo de la yema floral que protege las estructuras reproductivas durante su desarrollo. *Obliqua* en tanto proviene del griego *obliquus*, que significa oblicuo y alude a la asimetría de las hojas.

CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

Desde que L' Heritier puso el nombre al género muchas otras especies han sido descritas y se han propuesto diversas clasificaciones taxonómicas, sin embargo los eucaliptos, además de su variedad de tamaños, presentan una muy amplia gama de características morfológicas en flores y frutos, hojas y corteza, razón por la que no siempre existe consenso entre los botánicos.

Brooker *et al.* (2000) comentan que Cavanilles en 1797 describió un género adicional, *Angophora*; que Mueller en 1858 hizo una clasificación basada en el tipo de corteza; que Bentham en 1867 dividió el género *Eucalyptus* en cinco series usando las características de las anteras; que von Mueller en 1884 planteó otra clasificación basada en las anteras; y que Maiden en 1924 también lo hizo estudiando las anteras y que su clasificación fue tomada posteriormente por Blakely en 1934.

Slee *et al.*, 2006 señalan que Pryor y Johnson en 1971 concibieron una clasificación de todos los eucaliptos conocidos, separándolos en siete grandes grupos (subgéneros) sobre la base de la asociación de numerosos caracteres morfológicos, sistema que ha sido revisado posteriormente por el mismo Johnson y otros especialistas; que Briggs y Johnson en 1979 efectuaron un completo análisis de la familia *Myrtaceae* en todos sus géneros sobre la base de la estructura floral; que Chippendale en 1988, incluyendo 513 especies, las ordenó en 92 series; y que Hill y Johnson en 1995 segregaron y describieron otro género adicional, *Corymbia*, y agruparon los eucaliptos en siete secciones, con series y subseries.

Slee *et al.* (2006) comentan que Brooker en el año 2000, publica una clasificación formal que incluye todos los eucaliptos conocidos hasta ese momento, reconociendo solo el género *Eucalyptus* y trece subgéneros dentro de este, dos de los cuales son *Corymbia* y *Angophora*, y ubica a todos los eucaliptos en un sistema jerárquico que considera subgéneros, secciones, subsecciones, series, subseries y supraespecies, basándose en morfología comparativa.

Brooker *et al.* (2002) indican que la primera clasificación comprehensiva es la de Blakely en 1934, incluyendo 606 especies y variedades y basada en trabajos anteriores de von Mueller y Maiden, y que esta clasificación permaneció en uso por los taxonomistas hasta que la nueva, aunque informal, clasificación de Pryor y Johnson es publicada en 1971. En esta última, el género es dividido en siete subgéneros y representa un importante avance respecto de la de Blakely, pero su carácter informal impidió su aplicación en la literatura botánica formal.

El Herbario Nacional de Australia mantiene una aproximación conservadora, considera los géneros *Angophora* y *Eucalyptus*, y las alrededor de 800 especies del segundo las mantiene divididas en 13 subgéneros, dos de los cuales son *Blakella* y *Corymbia*, que constituyen el género *Corymbia* propuesto por Hill y Johnson en 1995.

Existen entonces 13 subgéneros, seis de los cuales consisten de una sola especie, y los restantes de numerosas especies (Brooker *et al.*, 2002). Los desacuerdos persisten en torno al reconocimiento de los géneros *Angophora*, *Blakella* y *Corymbia*. La nueva clasificación formal de

¹⁴ Capitán James Cook, navegante, cartógrafo y explorador británico.

Brooker en 2000, reconoce un género, *Eucalyptus*, y considera 13 subgéneros, entre los cuales están incluidos los tres antes mencionados.

Potts *et al.* (2011) indican que la última clasificación formal es la de Brooker en 2000, que reconoce más de 700 especies pertenecientes a 13 linajes evolucionarios, agregan que Slee *et al.* en 2006 listan 894 *taxa*, y ofrecen un resumen comparativo entre la clasificación de Pryor y Johnson de 1971, informal pero ampliamente empleada por 30 años, y la de Brooker en 2000, indicando número de especies y entregando además ejemplos de especies de importancia forestal en los principales subgéneros de Brooker.

FAO (1981), por su parte, señala los géneros, subgéneros, secciones y número de especies según la clasificación de Pryor y Johnson de 1971.

Empleando ambas fuentes, Potts *et al.* (2011) y FAO (1981), se obtiene la comparación resumida en el Cuadro N° 1. De acuerdo con la clasificación de Brooker hay un género único, *Eucalyptus*, en el cual están comprendidos como subgéneros *Angophora*, *Blakella* y *Corymbia*.

Potts *et al.* (2011) comentan (citando a Whittock, 2003) que recientes estudios moleculares sugieren que las especies del subgénero *Minutifructus* de Brooker corresponderían al subgénero *Symphyomyrtus*.

Potts *et al.* (2011) no incluyen las secciones de la clasificación de Brooker, pero comentan que las principales especies empleadas en plantaciones forestales, principalmente fuera de Australia, corresponden a:

Subgénero:	<i>Symphyomyrtus</i>	
Sección:	<i>Maidenaria</i>	Ej. <i>Eucalyptus dunnii</i> , <i>E. globulus</i> y <i>E. nitens</i>
	<i>Exsertaria</i>	Ej. <i>Eucalyptus camaldulensis</i> y <i>E. tereticornis</i>
	<i>Latoangulatae</i>	Ej. <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>E. pellita</i> , <i>E. saligna</i> , y <i>E. urophylla</i>

Slee *et al.* (2006) comentan que el permanente estudio de la taxonomía de este gran grupo de especies, con técnicas en constante avance, como las moleculares y las de filogenética, muy probablemente continuará generando nuevas proposiciones y eventuales cambios en la taxonomía de los eucaliptos.

Estos autores indican también que la actual situación de la taxonomía y nomenclatura de los eucaliptos es semejante a la de muchos grandes grupos de plantas de importancia económica y ambiental, y que siempre se producirán conflictos entre clasificaciones basadas en la filogenética y aquellas aproximaciones más pragmáticas que buscan mantener una estabilidad en la nomenclatura.

Slee (2012 comunicación personal¹⁵) comenta que en la 3ª Edición de EUCLID Eucalypts of Australia (Slee *et al.*, 2006) decidieron seguir la clasificación de Brooker del año 2000 para la mayoría de las especies y todos los subgéneros, excepto *Corymbia* (incluido *Blakella*) y *Angophora* que se continúan usando como géneros separados, el primero con 99 *taxa* y el segundo con 16 *taxa*. Slee indica que se trató de una decisión pragmática, pensando en los usuarios; los profesionales que emplean nombres botánicos formales en manejo y silvicultura, al igual que los botánicos y estudiantes en los herbarios.

¹⁵ Andrew Slee. Australian National Herbarium. CSIRO Plant Industry, Canberra, Australia. andrew.slee@csiro.au

Cuadro N° 1
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS EUCALYPTOS

Pryor & Johnson 1971				
Género	Subgénero	Sección	Especies (N°)	
<i>Angophora</i>			7	
<i>Eucalyptus</i>	<i>Blakella</i>	<i>Lemuria</i>	10	
	<i>Corymbia</i>	<i>Rufaria</i>	30	
		<i>Ochraria</i>	9	
	<i>Eudesmia</i>	<i>Quadraria</i>	12	
		<i>Apicaria</i>	5	
	<i>Gaubaea</i>	<i>Curtisaria</i>	2	
	<i>Idiogenes</i>	<i>Gympiaria</i>	1	
	<i>Monocalyptus</i>	<i>Renantheria</i>	106	
	<i>Symphomyrtus</i>	<i>Equatoria</i>	3	
		<i>Tingleria</i>	1	
		<i>Transversaria</i>	17	
		<i>Bisectaria</i>	104	
		<i>Dumaria</i>	36	
		<i>Exsertaria</i>	36	
		<i>Maidenaria</i>		68
			<i>Umbrawarria</i>	1
			<i>Howittaria</i>	1
<i>Adnataria</i>			79	
<i>Sebaria</i>	1			
<i>Telocalyptus</i>				
			522	

(Fuente: FAO, 1981)

Brooker 2000		
Subgénero	Especies (N°)	Ejemplos de Especies
<i>Angophora</i>	7	
<i>Blakella</i>	15	
<i>Corymbia</i>	67	<i>E. torelliana</i> , <i>E. citridora</i> , <i>E. variegata</i> , <i>E. maculata</i>
<i>Eudesmia</i>	19	
<i>Acerosa</i>	1	<i>E. cloeziana</i>
<i>Cuboidea</i>	1	
<i>Idiogenes</i>	1	<i>E. cloeziana</i>
<i>Primitiva</i>	1	
<i>Eucalyptus</i>	110	<i>E. regnans</i> , <i>E. delegatensis</i> , <i>E. obliqua</i> , <i>E. marginata</i> , <i>E. fastigata</i>
<i>Cruciformes</i>	1	<i>E. guilfoylei</i>
<i>Alveolata</i>	1	<i>E. microcorys</i>
<i>Symphomyrtus</i>	474	<i>E. camaldulensis</i> , <i>E. dunnii</i> , <i>E. excerta</i> , <i>E. globulus</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. nitens</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. pellita</i> , <i>E. robusta</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. tereticornis</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. viminalis</i>
<i>Minutifructus</i>	4	<i>E. deglupta</i>
		702

(Fuente: Modificado de Potts et al., 2011)

Slee señala también que estiman que esta última versión de EUCLID refleja los más ampliamente aceptados conceptos de clasificación en la actualidad y comenta que, adicionalmente, Australia tiene un cuerpo profesional, el Council of Heads of Australasian Herbaria (CHAH), que ha producido el documento en línea Australian Plant Census (APC16), aún sin terminar, pero bastante completo para eucaliptos.

En este documento en línea se usan los tres géneros; *Angophora*, *Corymbia* y *Eucalyptus* y el CHAH busca así proveer una lista de consenso de la flora australiana, como un punto central de referencia independiente de los permanentes desacuerdos entre los botánicos.

El listado de APC no corresponde exactamente al de EUCLID, pero ambos están muy cercanos.

Se concluye entonces que la clasificación de Brookers del año 2000 es la más reciente clasificación formal de los eucaliptos y que la interpretación actualmente más aceptada y en uso es esta, pero conservando *Angophora* y *Corymbia* como géneros separados (Slee et al., 2006; Slee, 2012 comunicación personal).

En consecuencia, el gran grupo de plantas de los eucaliptos estaría hoy conformado por los géneros *Angophora*, *Corymbia* y *Eucalyptus*.

HÁBITO DE CRECIMIENTO

De acuerdo con su hábito de crecimiento, en Australia se les denomina árbol, malle o arbusto, aunque no hay límites muy claros entre estas categorías.

Se incluye dos categorías especiales de uso común en Western Australia; mallet y marlock, válidas solo para las especies de esa parte del país.

Árbol: Planta leñosa de tronco recto y único, con variadas formas de copa. La definición no menciona una altura mínima, pero se refiere principalmente a los grandes eucaliptos con fuste único bien definido.

Mallet: Árbol con un tronco delgado y con las ramas fuertemente anguladas en este.

Marlock: Arbusto o pequeño árbol de tronco único, con ramas extendidas y densamente cubiertas de hojas, a menudo hasta el suelo.

Para alturas de unos 8 m y más la diferencia entre mallet y marlock se hace muy difusa.

Malle: Planta leñosa con múltiples troncos desde el suelo y raras veces de más de 10 m de altura.

Arbusto: En eucaliptos, los arbustos son plantas leñosas de bajo crecimiento que, aún siendo ya reproductivamente maduras, pueden tener hasta menos de 1 m de altura. Normalmente se encuentran en condiciones ambientales extremas.

¹⁶ <http://www.anbg.gov.au/chah/apc/>



Arbusto (izq), Malle (centro), Árbol (der)

Figura N° 2
HÁBITO CRECIMIENTO

PLANTACIONES FORESTALES EN EL MUNDO

Las plantaciones forestales en el mundo, de acuerdo a FAO (2010), alcanzan a 264 millones de hectáreas, lo que representa alrededor del 7% de la cubierta forestal global, y su distribución geográfica está fuertemente concentrada en Asia, con el 46% de la superficie plantada, 123 millones de hectáreas.

Le siguen Europa y Norte y Centro América con 26 y 15%, respectivamente, y África, Sur América y Oceanía con una participación menor en las plantaciones mundiales (Cuadro N° 2).

Globalmente se está plantando a una tasa anual de 11 millones de hectáreas; Asia lo hace a razón de 7,4 millones de hectáreas por año, Europa y Norte y Centro América a razón 1,2 y 1,1 millones de hectáreas anuales, respectivamente, y Sudamérica 0,83 millones de hectáreas por año, mostrando África y Oceanía participaciones bastante menores (Cuadro N° 3) (FAO, 2010).

De los 11 millones de hectáreas de plantación anual, 5,6 corresponden a forestación y 5,4 a reforestación¹⁷, y en ambos casos alrededor de un tercio de la superficie plantada corresponde especies exóticas o introducidas¹⁸ (FAO, 2010)¹⁹

¹⁷ Se considera plantación forestal a una plantación o siembra deliberada, si esta se realiza en áreas que no tenían bosque es forestación y en áreas que lo tenían, y ya no lo tienen debido a incendio, cosecha a tala rasa u otra razón, reforestación.

¹⁸ Especie exótica o introducida es aquella que se está empleando fuera de su región o regiones de distribución natural. Ej. *Eucalyptus globulus* es especie exótica en cualquier región fuera de Australia.

¹⁹ FAO desarrolla periódicamente la Evaluación de los Recursos Forestales (FRA por su sigla en inglés), estudio en el cual se revisa y evalúa la cubierta forestal mundial, que incluye bosques nativos y plantaciones forestales. FRA 2010 determinó que la deforestación (cambio de uso a agricultura, ganadería u otros, incendios forestales y otras causas) en el período 2000 – 2010 alcanzó a una media anual de 13 millones de hectáreas, la forestación a 5,6 y la expansión natural de bosques a 2,6 millones de hectáreas, lo que significa una pérdida neta de cubierta forestal en torno a 5 millones de hectáreas anuales. La reforestación no incide en el balance.

Cuadro N° 2
SUPERFICIE PLANTACIONES FORESTALES
POR REGIÓN

REGIÓN	SUPERFICIE (Millones ha)
África	15,4
Asia	122,8
Europa	69,3
N y C América	38,7
Oceanía	4,1
S América	13,8
Total	264,1

(Fuente: FAO, 2010)

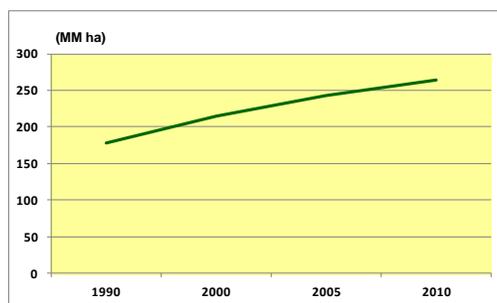
Cuadro N° 3
TASA GLOBAL DE PLANTACIÓN ANUAL
2000 -2010

REGIÓN	REFORESTACIÓN	FORESTACIÓN	TOTAL
	(Mha / año)		
África	237	160	397
Asia	2.479	4.926	7.405
Europa	993	170	1.163
Oceanía	37	59	96
N y C América	876	204	1.080
Sudamérica	723	104	827
Total	5.345	5.623	10.968

(Fuente: FAO, 2010)

La superficie global de plantaciones forestales, o bosques plantados como también se las denomina, durante las últimas dos décadas se ha incrementado en más de 80 millones de hectáreas (Figura N° 3) y estos bosques, si bien representan solo el 7% de la cubierta forestal mundial, están ya supliendo más del 20% del volumen total de trozas con fines industriales que anualmente se extrae para la producción de fibra, madera aserrada y otros *commodities* que actualmente se tranzan en crecientes volúmenes en los mercados mundiales (FAO, 2000; FAO, 2010).

FAO (2000) estima que hacia mediados del presente siglo los bosques plantados estarán proveyendo tal vez más del 50% de la demanda anual de trozas con fines industriales.



(Fuente: FAO, 2010)

Figura N° 3
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE GLOBAL DE BOSQUES PLANTADOS
1990 - 2010

Principales Especies en las Plantaciones Forestales

La Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales de FAO del año 2010 (FRA 2010) no entrega desagregación de superficies por especies en las plantaciones forestales, la información disponible al respecto proviene de FRA 2000 (FAO, 2000), cuando la superficie global de bosques plantados informada era de 187 millones de hectáreas.

En el año 2000, las especies o grupos de especies presentes en las plantaciones forestales corresponden en un 40 % a latifoliadas y un 31 % a coníferas, en tanto que para el 29% restante de la superficie de plantaciones no existe un registro de especies o grupo de ellas.

Entre las latifoliadas dominan *Hebea brasiliensis* (caucho), *Tectona grandis* (teca) y especies de los géneros *Eucalyptus* (eucaliptos) y *Acacia* (acacias), en tanto que entre las coníferas destacan ampliamente las especies del género *Pinus* (pinos) (Cuadro N° 4).

Los productos a obtener y el valor de estos, la rapidez de crecimiento, las posibilidades de adaptación a variadas condiciones de sitio y otros factores han sido causas principales para que muchas especies sean intensamente usadas en plantaciones forestales, fuera de sus áreas de distribución natural, y es así como en estas plantaciones dominan en muchos casos especies introducidas desde otras regiones del mundo.

Ejemplos de esto son el caucho, originario de la cuenca amazónica, con extensas plantaciones en Asia y África; la teca, cuya distribución natural es India, Myanmar, Laos y Tailandia, con grandes superficies plantadas en el resto de Asia y en África y América; los pinos, nativos del hemisferio norte y algunos de ellos con áreas de distribución natural bastante restringidas en este, que se han difundido ampliamente en Sur América, Oceanía y otras regiones; y los eucaliptos, originarios fundamentalmente de Australia, que se han extendido por todo el mundo, principalmente Asia, Sur América y África (Figura N° 4).

Cuadro N° 4
PRINCIPALES ESPECIES EN LAS PLANTACIONES FORESTALES MUNDIALES

ESPECIE	SUPERFICIE (Millones ha)
<i>Acacia spp</i>	8,3
<i>Eucalyptus spp</i>	17,9
<i>Hevea brasiliensis</i>	9,9
<i>Tectona grandis</i>	5,7
<i>Pinus spp</i>	37,4
Otras latifoliadas	33,6
Otras coníferas	20,7
Sin especificar	53,6
Total	187,1

(Fuente: FAO, 2000)

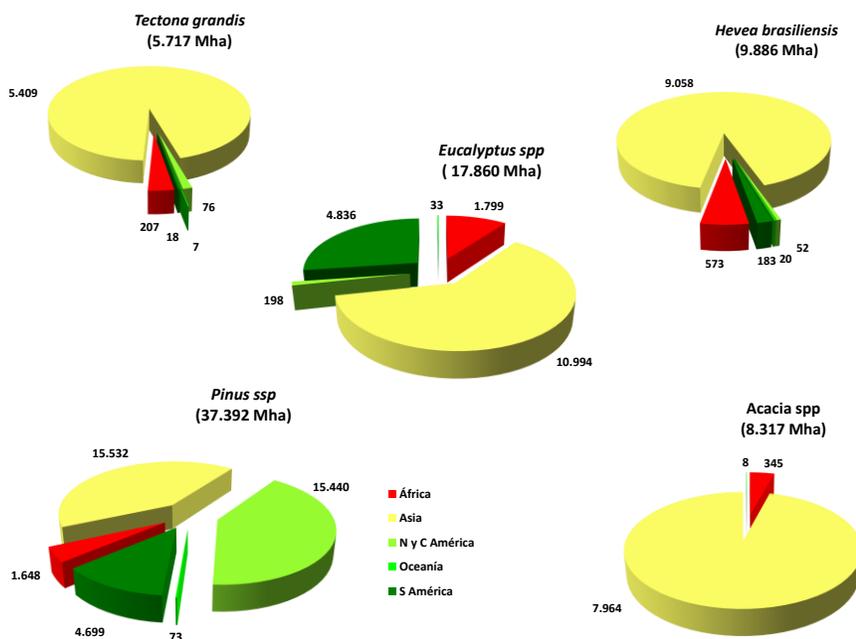


Figura N° 4
SUPERFICIE DE PLANTACIONES DE LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES SEGÚN REGIONES

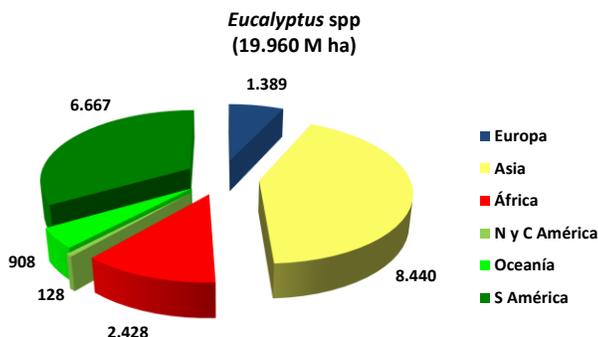
Eucaliptos en las Plantaciones Forestales

FAO (2000) indica que las especies del género *Eucalyptus* se encuentran entre las más plantadas con 17,9 millones de hectáreas, superadas solo por aquellas del género *Pinus* con 37,4 millones de hectáreas (Cuadro N° 4).

De acuerdo con las cifras indicadas, los eucaliptos predominan en las plantaciones forestales de Sur América y África; en Asia, pese a presentar casi 11 millones de hectáreas, son superados por otras latifoliadas y por pinos y otras coníferas; en Centro y Norte América y en Oceanía esta fuente no los destaca mayormente, y en Europa no figuran específicamente.

GIT (2009) emplea las cifras de FAO (2000), las complementa con consultas a organizaciones y expertos de todo el mundo para la confección de un mapa mundial de eucalipto, y concluye que la cifra global de la superficie de plantaciones de eucaliptos es significativamente mayor que la dada por FAO (2000), alcanzando a 20 millones de hectáreas al año 2009.

Los eucaliptos, según indica GIT (2009), tienen una importante participación en las plantaciones forestales en todos los continentes y, adicionalmente a lo informado por FAO (2000), señala importantes superficies plantadas en Europa y e incrementa aquellas de Sur América y Oceanía (Figura N° 5).

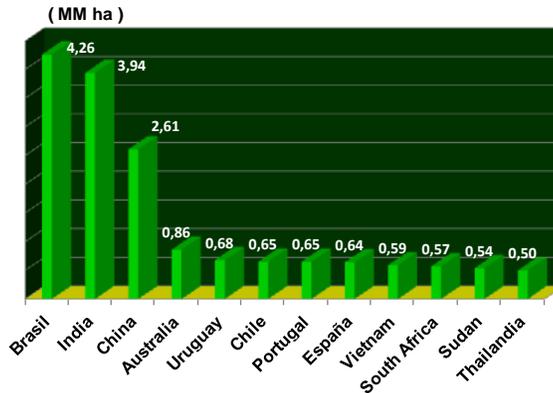


(Fuente: GIT, 2009)

Figura N° 5
PLANTACIONES DE EUCALIPTOS SEGÚN REGIONES

Asia y Sur América reúnen tres cuartas partes de las plantaciones mundiales de eucaliptos, en tanto que a nivel de países destacan Brasil con más de 4 millones de hectáreas, India con 3,9 y China con 2,6 concentrando en conjunto algo más del 50% del total.

Les siguen Australia, Uruguay, Chile, Portugal, España, Vietnam, Sudáfrica, Sudán y Tailandia, todos países con más de 500 mil hectáreas plantadas, que reúnen 5,7 millones de hectáreas y que, en conjunto con los anteriores, suman 12 países que representan el 83% de la superficie global plantada con eucaliptos (Figura N° 6). Unos 50 países, en todos los continentes, dan cuenta del 17% restante.



(Fuente: GIT, 2009)

Figura N° 6
PRINCIPALES PAÍSES CON PLANTACIONES DE EUCALIPTOS

Especies de Mayor Importancia en las Plantaciones de Eucaliptos

Harwood (2011) indica que las plantaciones de eucaliptos en el mundo se han incrementado de unos 6 millones de hectáreas existentes en 1990 a más de 20 millones de hectáreas en la actualidad y, sobre la base de visitas a los principales países que las tienen, estima que 9 especies principales y varios híbridos entre estas explican más del 90% de la superficie global de bosques plantados de eucaliptos y señala las siguientes:

Eucalyptus camaldulensis
Eucalyptus dunnii
Eucalyptus globulus
Eucalyptus grandis
Eucalyptus nitens
Eucalyptus pellita
Eucalyptus saligna
Eucalyptus tereticornis
Eucalyptus urophylla

Gran parte de las plantaciones de eucaliptos se ubican en climas tropicales, subtropicales y templados cálidos, solo *Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus* y *E. nitens* prosperan en climas templados fríos y solo estas, de entre las nueve, son plantadas en latitudes más allá de 35° S y N. *Eucalyptus dunnii* y *E. pellita* en tanto, han tomado importancia solo en los últimos 20 años, la primera se está usando en climas templados cálidos con precipitaciones estivales en Sudamérica, sur de África y China, y la segunda, apropiada para climas tropicales, está siendo empleada comercialmente en Indonesia.

Más recientemente, ha adquirido importancia *Eucalyptus benthamii* para producción de pulpa en Latinoamérica, en países como Uruguay, por su rápido crecimiento y tolerancia a frío (Harwood, 2011).

Con la excepción de *Eucalyptus dunnii* y *E. nitens*, difíciles de propagar vegetativamente, para las especies principales se ha desarrollado exitosamente la silvicultura clonal con híbridos entre ellas que se adaptan bien a condiciones climáticas intermedias entre aquellas de las especies puras. Algunos ejemplos son (Harwood, 2011):

Híbridos *E. urophylla* x *E. grandis* se han adaptado bien a condiciones de climas tropicales y subtropicales húmedos, con mayor vigor y resistencia a enfermedades que las especies puras, y hoy se los usa masivamente en Brasil.

Híbridos *E. grandis* x *E. nitens* son comercialmente plantados en Sudáfrica en zonas altas donde el frío limita las posibilidades de *E. grandis*.

Híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* muestran mejor tolerancia a sequía que *E. grandis* y mayor crecimiento que *E. camaldulensis* en sitios en Sudáfrica y Latinoamérica con precipitaciones muy bajas para *E. grandis*.

Bush (2011) menciona las 9 especies principales indicadas por Harwood (2011) (*the big nine*) que representarían el 95% de las plantaciones de eucaliptos en el mundo, pero destaca cuatro (*the very big four*) que darían cuenta de alrededor del 85% de estas y son las siguientes:

Eucalyptus camaldulensis
Eucalyptus globulus
Eucalyptus grandis
Eucalyptus urophylla

Bush (2011) deja las 5 restantes (*the quite big five*) como constituyentes de menos del 10% de las plantaciones globales:

Eucalyptus dunnii
Eucalyptus nitens
Eucalyptus pellita
Eucalyptus saligna
Eucalyptus tereticornis

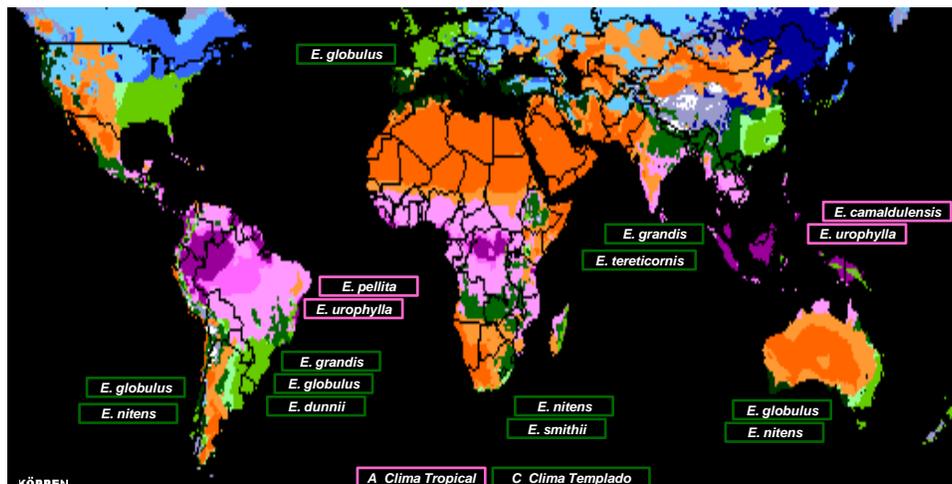
Borrallo (2011) indica que a principios del siglo XX se consideraba como principales especies en las plantaciones de eucaliptos a más de 100, que en los años 70 se hablaba de unas 30, número que en los años 90 se reducía a 13 y que, en la realidad actual, las especies de mayor importancia son 6 a 9, más un reducido número de otras especies de las que existen superficies significativas, pero que están perdiendo importancia.

Este autor no considera *Eucalyptus saligna*, pero incorpora entre las 9 principales a *Eucalyptus smithii*.

Para climas tropicales: *Eucalyptus camaldulensis*
Eucalyptus urophylla
Eucalyptus pellita

Para climas templados: *Eucalyptus globulus*
Eucalyptus grandis
Eucalyptus dunnii
Eucalyptus nitens
Eucalyptus tereticornis
Eucalyptus smithii

El autor mencionado ubica estas especies geográficamente y de acuerdo a tipos climáticos (A y C de Köppen) como se aprecia en la Figura N° 7.



(Fuente: Borralho, 2011)

Figura N° 7
ESPECIES DE MAYOR IMPORTANCIA EN LAS PLANTACIONES DE EUCALIPTOS

Bush (2011) comenta que todas estas especies son del subgénero *Symphyomyrtus*, se caracterizan por una buena adaptabilidad a un amplio rango de sitios y un rápido crecimiento inicial, con buenos incrementos medios anuales en rotaciones cortas, aunque pueden ser susceptibles a plagas y enfermedades. Menciona también especies del subgénero *Eucalyptus* (*Monocalyptus* según Pryor y Johnson), como *Eucalyptus regnans*, *E. delegatensis* y *E. obliqua*, que son más sitio específicas, requieren de mejores sitios, tienen un crecimiento temprano más lento, pero pueden tener incrementos medios anuales mayores a rotaciones más largas, y en promedio su resistencia a plagas y enfermedades puede ser mejor.

Estas últimas especies mencionadas por Bush (2011), principalmente *Eucalyptus regnans* y *E. delegatensis*, fueron de mucha importancia en plantaciones en el sur de Australia, pero la tendencia creciente a las plantaciones de corta rotación para producción de pulpa y los rápidos crecimientos iniciales de especies como *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*, las desplazaron progresivamente, aunque actualmente están retomando importancia para plantaciones de mayor rotación y productos de madera sólida de mayor valor (Harwood, 2011).

Bush (2011) indica que entre las razones por las que las nueve especies principales han adquirido la importancia que hoy tienen están la creciente demanda por madera y *commodities* derivados de esta, aparejada con el aumento de la población mundial; sus altas tasas de crecimiento, en especial en zonas tropicales; la facilidad de propagación vegetativa de la mayoría de ellas; su buena aptitud pulpable (en especial *Eucalyptus globulus*); la gran disponibilidad de sitios con relativamente buenos suelos y adecuadas precipitaciones que había hace 20 años y

ausencia de heladas en zonas tropicales y subtropicales; y la presión por conservar y proteger los bosques nativos.

El autor comenta igualmente que hay muy buenas razones por las que se puede requerir emplear más especies de eucaliptos en las plantaciones y entre estas se cuentan:

- La relativa menor disponibilidad de los mejores sitios en muchos lugares o regiones.
- La presencia de factores de sitio limitantes para que prosperen las principales especies (frío, sequías) en diferentes áreas.
- La necesidad de mayor resistencia a plagas y enfermedades.
- La existencia de nichos de mercado para productos de mayor valor (madera aserrada, chapas).
- La prevención de modificaciones de sitios como producto del cambio climático.
- El aumento de plantaciones con fines de servicios ambientales como la captura de carbono o de producción de bioenergía.

La identificación de las numerosas especies de este género, de tan amplia distribución natural, no es sencilla, múltiples publicaciones existen al respecto y se emplean para la clasificación taxonómica diferentes componentes del árbol, como corteza, hojas juveniles y adultas, flores, frutos y semillas, y más detalladamente, distribución, cantidad y morfología de flores y frutos, como los estambres, las anteras, los opérculos que cubren las yemas florales antes de liberar los estambres y otras características, todas las cuales muestran también una gran variedad a través de las diferentes especies.

En la Figura N° 8 se muestra la división administrativa de Australia y sus principales tipos climáticos y en las Figuras N° 9 a N° 17 se caracteriza a las principales especies, indicando su distribución natural, hábito de crecimiento, corteza, frutos y flores.

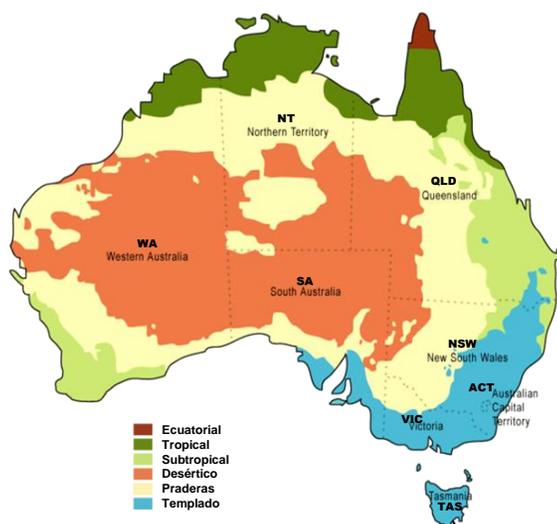


Figura N° 8
ESTADOS DE AUSTRALIA Y TIPOS CLIMÁTICOS

-*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. River Red Gum

Es la especie de más amplia distribución en Australia, está presente en todos los Estados, excepto Tasmania (Brooker *et al.*, 2000)

Es una especie principalmente ribereña de cursos de agua permanentes u ocasionales.

Tamaño variable, corteza blanca, crema o gris, lisa, con parches de color café, amarillo o rosado.

Frutos pedicelados agrupados de a siete. Flores blancas.

Se la usa en construcción, durmientes, pisos, tableros, terciados y chapas, postes, leña y carbón, aceites, gomas, miel, medicinas y como ornamental.

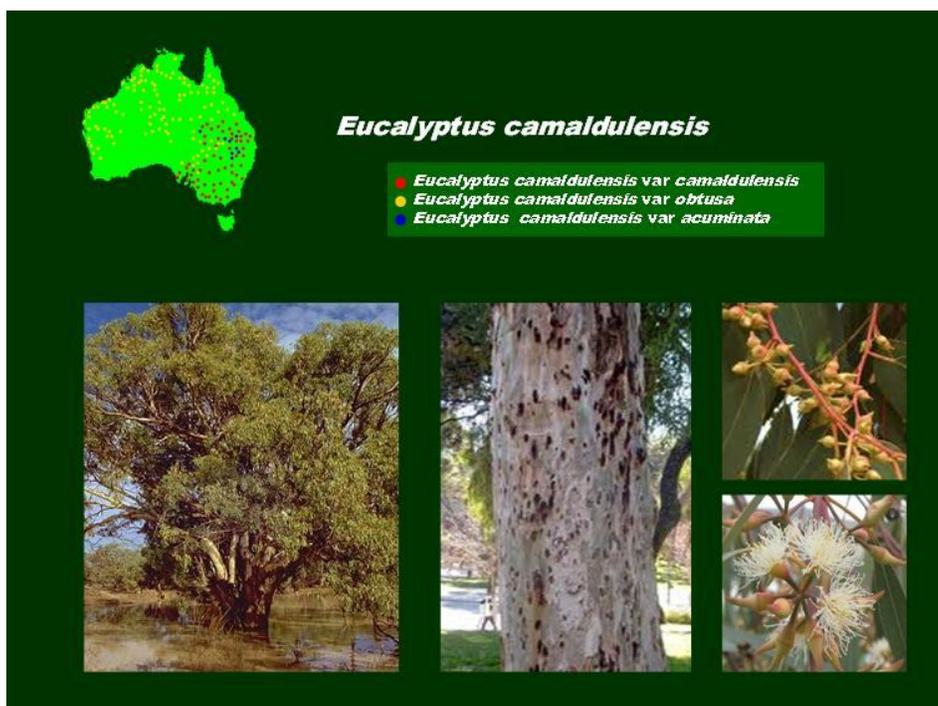


Figura N° 9
Eucalyptus camaldulensis

Se reconoce tres variedades:

- *Eucalyptus camaldulensis* var. *camaldulensis*

Es la variedad más abundante, es un árbol de hasta 45 m de altura característico del SE

de South Australia, Victoria, New South Wales y S de Queensland.

- *Eucalyptus camaldulensis* var. *obtusa*

Árbol de hasta 30 m de altura, presente en el SE de New South Wales, NE de South Australia, Queensland, Northern Territory y N y O de Western Australia.

- *Eucalyptus camaldulensis* var. *acuminata*

Árbol de hasta 25 m de altura, con distribución más restringida; S de Queensland y N de New South Wales.

-*Eucalyptus urophylla* St. Blake. Timor Mountain Gum

Su distribución natural es fuera de Australia, se restringe a varias islas del SE Asiático, correspondientes a Indonesia y Timor (Islas Flores, Adonara, Lomblen, Pantar, Alor, Wetar y Timor) (Gunn y Mc Donald, 1992; WAC, 2012).

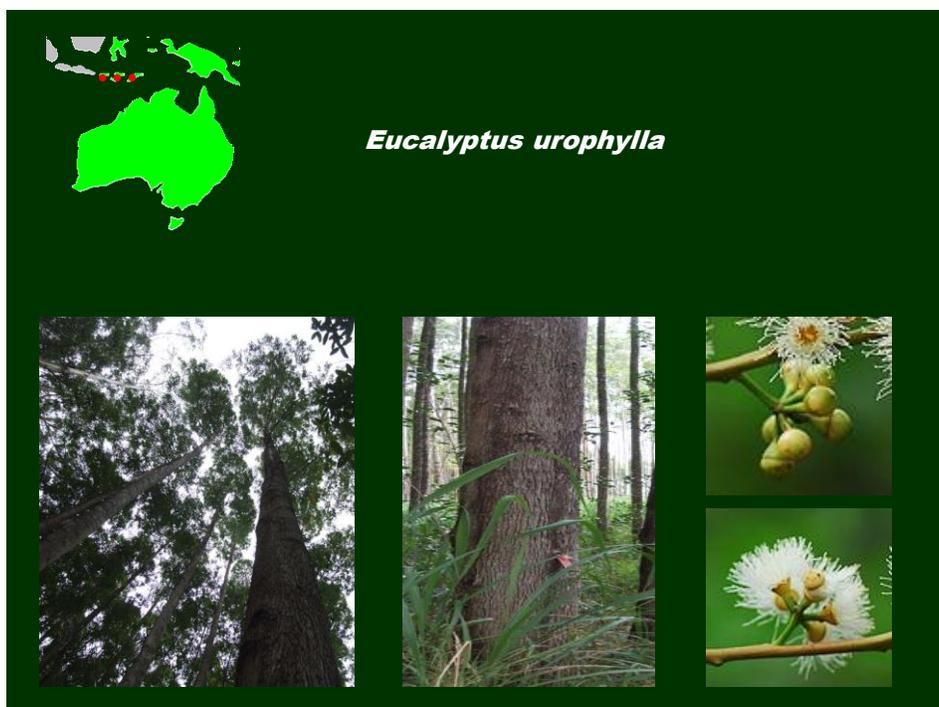


Figura N° 10
Eucalyptus urophylla

Árbol de hasta 45 m de altura, ejemplares excepcionales 55 m, corteza normalmente persistente y fibrosa, café rojiza, a veces rugosa en la base.

Frutos en umbrela, de cinco a ocho. Flores blancas.

Se la usa en construcciones, pulpa, leña y carbón, puentes, pisos, postes, taninos y aceites.

-*Eucalyptus pellita* F. Muel. Red Mahogany

Especie forestal que ocurre naturalmente en Australia, N de Queensland, y en Nueva Guinea (Gunn *et al.*, 1992; Brooker *et al.*, 2000; WAC, 2012).

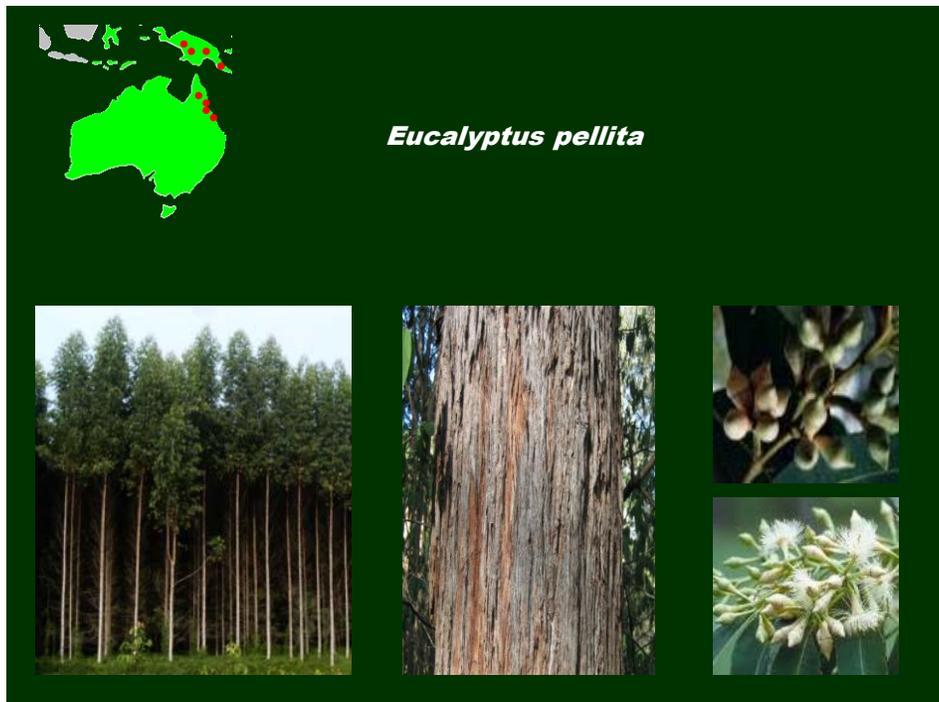


Figura N° 11
Eucalyptus pellita

Árbol de hasta 40 m de altura, su corteza es rugosa café a café rojiza.

Frutos axilares, sésiles a cortamente pedicelados, agrupados normalmente de a siete. Flores blancas.

Se la usa en construcciones, leña y carbón, aceites, miel, cortavientos y como ornamental.

-*Eucalyptus globulus* Labill. Blue Gum

Especie forestal de amplia distribución en los Estados de Tasmania, Victoria y New South Wales (Brooker *et al.*, 2000).

Característica por sus hojas juveniles azul plateadas, sus vigorosos retoños y sus tallos juveniles de sección cuadrada.

La corteza es lisa y blanca y, excepto en la base donde es persistente, se desprende en largas tiras. Flores blancas. Son árboles de gran tamaño.

Se la usa en construcciones, pulpa, durmientes, gomas, aceites, miel, medicinas y como ornamental.

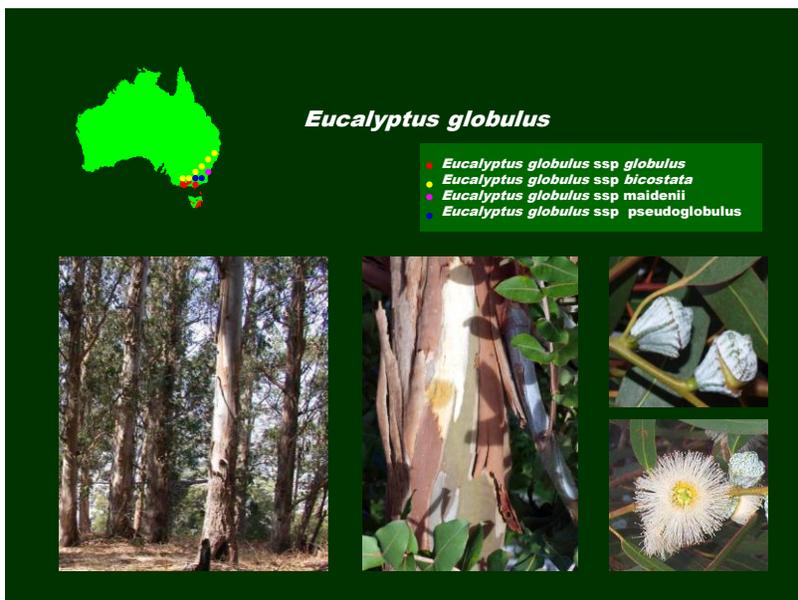


Figura N° 12
Eucalyptus globulus

Se reconoce cuatro subespecies.

- *Eucalyptus globulus ssp globulus* Tasmanian Blue Gum

Árbol de hasta 70 m de altura, abundante en tierras bajas de Tasmania y y centro sur de Victoria.

Presenta frutos sésiles normalmente aislados.

- *Eucalyptus globulus ssp bicostata* Victorian Blue Gum

Árbol de hasta 45 m de altura, presente en zonas altas de Victoria y S de New South Wales y en una reducida población en Soth Australia

Presenta frutos sésiles agrupados de a tres.

-*Eucalyptus globulus ssp maidenii* Maiden's Gum

Árbol de hasta 50 m de altura, ocurre en el SE de New Soth Wales y E de Victoria.

Presenta frutos pedicelados agrupados de a siete.

-*Eucalyptus globulus ssp pseudoglobulus* Victorian Eurabbie

Árbol de hasta 45 m de altura, presente en zonas costeras e interiores de Victoria.

Presenta frutos sésiles, pedicelados, agrupados de a tres.

-*Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden Rose Gum

Especie forestal que se encuentra en bosques húmedos del E de Australia, desde el N de New South Wales hasta el N de Queensland (Brooker *et al.*, 2000).

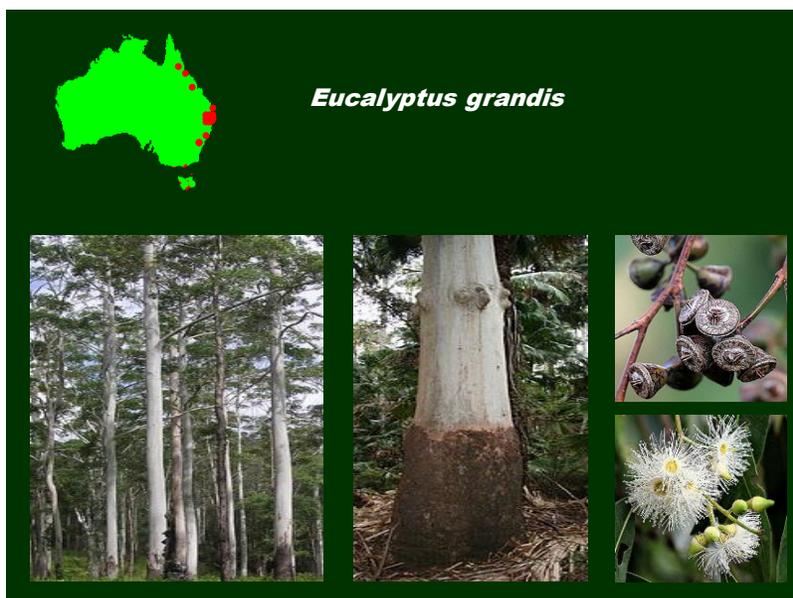


Figura N° 13
Eucalyptus grandis

Árbol de hasta 75 m de altura, su corteza es normalmente rugosa en la base y limpia, lisa y blanca hacia arriba.

Frutos sésiles o pedicelados, agrupados de a cuatro o cinco. Flores blancas.

Se la usa en construcciones, chapas, pisos, tableros, botes, gomas, miel y como ornamental.

-*Eucalyptus dunnii* Maiden. White Gum

Especie forestal con una distribución restringida al SE de Queensland (Brooker *et al.*, 2000).

Árbol de hasta 50 m de altura, su corteza es normalmente rugosa en la base hasta 1 a 2 m, hojas juveniles verde grisáceas y limpia, lisa y blanca hacia arriba.

Frutos pedicelados, agrupados de a siete. Flores blancas.

Se la usa en construcciones ligeras y como ornamental.



Figura N° 14
Eucalyptus dunnii

-*Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden Shining Gum

Especie forestal que se ubica en zonas altas en New South Wales y en la parte central y S de Victoria (Brooker *et al.*, 2000).

Árbol de hasta 70 m de altura, su corteza es normalmente lisa en la base, con partes rugosas grisáceas hasta 1 m, y lisa gris pálido o gris verdosa hacia arriba.

Hojas juveniles azul grisáceas y tallos juveniles grisáceos de sección cuadrada.

Frutos sésiles agrupados de a siete. Flores blancas.

Se la usa en construcciones, tableros, pulpa, pisos, muebles, miel y como ornamental.

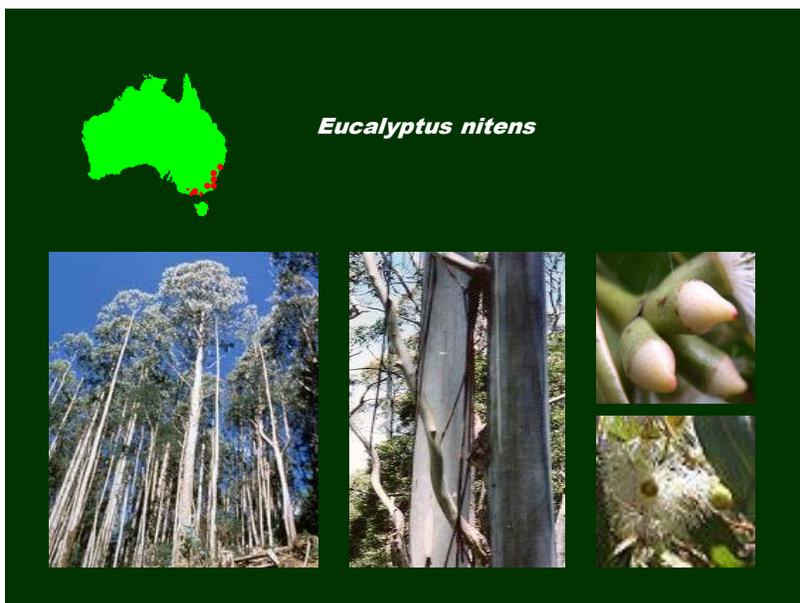


Figura N° 15
Eucalyptus nitens

-*Eucalyptus tereticornis* Smith. Red Iron Gum

Especie forestal con una amplia distribución en la costa E de Australia (Brooker *et al.*, 2000).

Corteza lisa, moteada crema, amarillo y rosado.

Frutos pedicelados, agrupados de a siete. Flores blancas.

Se la usa para madera, miel, gomas, productos medicinales y como ornamental.

Se reconoce dos subespecies:

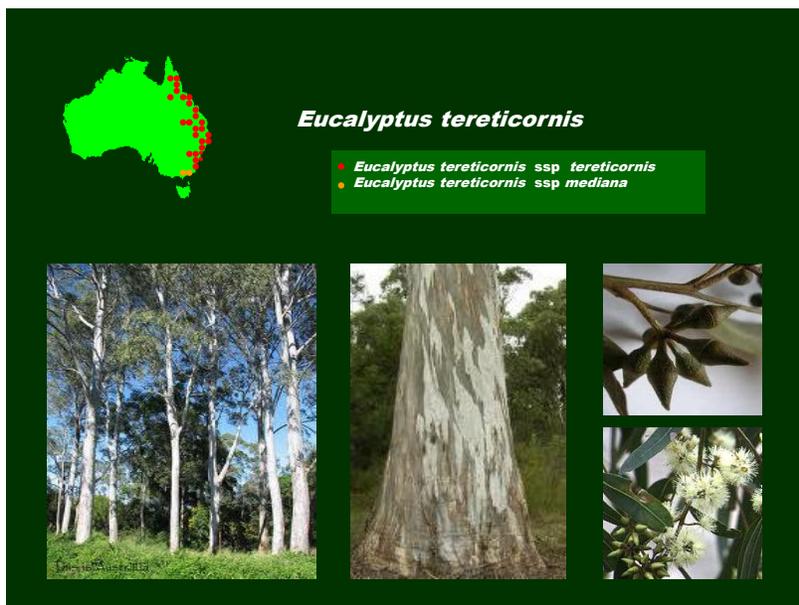


Figura N° 16
Eucalyptus tereticornis

- *Eucalyptus tereticornis* ssp *tereticornis*

Árbol de hasta 50 m de altura. Ampla distribución en la costa E de Australia, desde el S de New South Wales hasta el N de Queensland

- *Eucalyptus tereticornis* ssp *mediana*

Árbol de hasta 20 m de altura. Distribución restringida al E de Victoria.

-*Eucalyptus smithii* R. Baker. Gully Gum

Especie forestal cuya distribución natural es SE de New South Wales y E de Victoria (Brooker *et al.*, 2000)

Árbol de hasta 45 m de altura, su corteza es rugosa en la base y a mayor altura lisa, blanca, verde pálido o crema pálido.

Frutos pedicelados, agrupados de a siete. Flores amarillas

Se la usa en construcciones, aceites y productos medicinales.

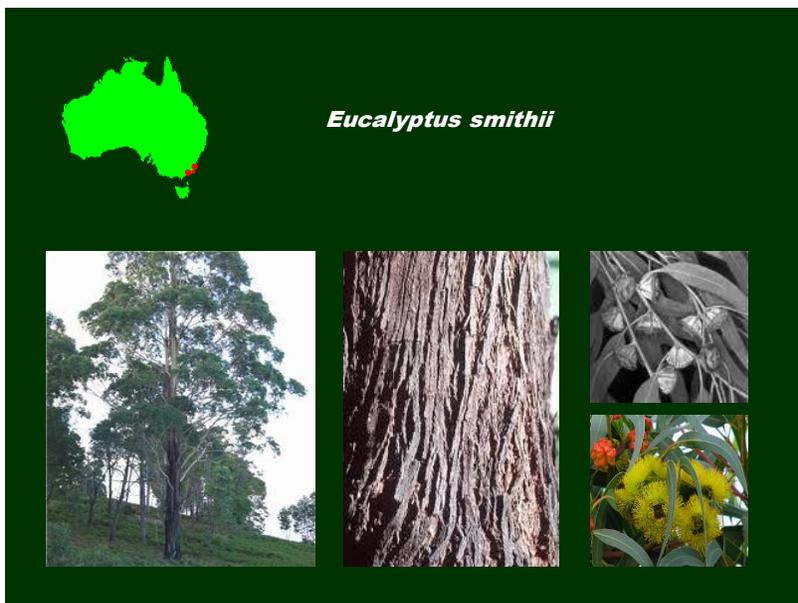


Figura N° 17
Eucalyptus smithii

REFERENCIAS

Borralho, Nuno, 2011. Quality – Cost Competitiveness of Eucalypts an How to Move it to the Next Level. In: IUFRO Eucalypts, Porto Seguro, Bahía, Brazil. En: <http://www.ipef.br/eventos/2011/iufro.asp>

Brooker, M. I. H.; Connors, J. R. y Slee, A. V., 2000. EUCLID Eucalypts of South Eastern Australia. Revised Edition (CD). Centre for Plant Biodiversity Research. CSIRO Publishing. Australia.

Brooker, M. I. H.; y Slee, A. V. and Connors, J. R., 2002. EUCLID Eucalypts of Southern Australia. Second Edition, CSIRO Publishing. Australia. In: <http://www.anbg.gov.au/cpbr/cd-keys/Euclid/sample/html/about.htm>

Bush, David, 2011. Eucalypts for Planting: Trends in Testing and Utilization. CSIRO Plant Industry, Australian Tree Seed Centre. In: IUFRO Eucalypts, Porto Seguro, Bahía, Brazil. In: <http://www.ipef.br/eventos/2011/iufro.asp>

FAO, 1981. El Eucalipto en la Repoblación Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, FAO. En: <http://www.fao.org/docrep/004/AC459S/AC459S00.htm#TOC>

FAO, 2000. FRA 2000. Forest Resources Assessment (FRA). In: <http://www.fao.org/docrep/004/y2316s/y2316s0b.htm>

FAO, 2010. FRA 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Estudio FAO: Montes 163. En: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s.pdf>

GIT, 2009. Global *Eucalyptus* Map Version 1.0.2. GIT Forestry Consulting's.
In: http://gitforestry.com/download_git_eucalyptus_map.htm

Gunn, B. V. y Mc Donald, M. W., 1992. Recolección de Semillas de *Eucalyptus urophylla*. División Forestal de CSIRO. Canberra, Australia. En: Información sobre Recursos Genéticos Forestales N° 19. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma.
En: <http://www.fao.org/docrep/006/u5380s/U5380S00.htm#TOC>

Gunn, B. V., Gardiner, C. A. and Morse, G. J., 1992. *Eucalyptus pellita*. Seed Collections in Papua New Guinea and North Queensland, September–November 1991. CSIRO Division of Forestry, Canberra ACT, Australia. In: Forest Genetic Resources Information N° 20. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, FAO.

Harwood, C., 2011. Introductions: Doing it Right. In 'Developing a Eucalypt Resource: Learning from Australia and Elsewhere'. (Ed. J. Walker) pp. 43-54. (Wood Technology Research Centre, University of Canterbury: Christchurch, New Zealand).
In: <http://www.crcforestry.com.au/newsletters/downloads/Harwood-paper-NZ-Conference-2011-final.pdf>

Hickey, J. E., Kostoglou, P. and Sargison, G. J., 2000. Tasmania's Tallest Trees. Forestry Tasmania. Tasforests Vol. 12 December 2000.
In: http://www.forestrytas.com.au/forestrytas/tasfor/tasforests_12/tasfor_12_09.pdf
<http://aciarc.gov.au/files/node/505/pr111.pdf>

Potts, Brad; Hamilton, Matthew and Blackburn, David, 2011. Genetics of Eucalypts: Traps and Opportunities. In: Workshop in New Zealand on Developing a Eucalypt Resource" Held on 3rd & 4th Nov 2011. Learning from Australia and Elsewhere. (Ed. J. Walker). Wood Technology Research Centre, University of Canterbury, New Zealand. In: <http://www.crcforestry.com.au/view/index.aspx?id=82107>

Slee, A. V.; Brooker, M. I. H.; Duffy, S. M. and West, J. G., 2006. EUCLID Eucalypts of Australia. Third Edition. Centre for Plant Biodiversity Research (CPBR), CSIRO Plant Industry, Australia.
In: <http://www.publish.csiro.au/samples/euclid/sample/html/about.htm>

WAC, 2012. Agroforestry Tree Data Base. A Tree Species Reference and Selection Guide, *Eucalyptus urophylla*. World Agroforestry Centre.
In: <http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=821>.

REGLAMENTO DE PUBLICACION

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL es una publicación técnica, científica, arbitrada y seriada, del Instituto Forestal de Chile, en la que se publica trabajos originales e inéditos, con resultados de investigaciones o avances de estas, realizados por sus propios investigadores y por profesionales del sector, del país o del extranjero, que estén interesados en difundir sus experiencias en áreas relativas a las múltiples funciones de los bosques, en los aspectos económicos, sociales y ambientales. Se acepta también trabajos que han sido presentados en forma resumida en congresos o seminarios. Consta de un volumen por año, el que a partir del año 2007 está compuesto por tres números (abril, agosto y diciembre) y ocasionalmente números especiales.

La publicación cuenta con un Consejo Editor institucional que revisa en primera instancia los trabajos presentados y está facultado para aceptarlos, rechazarlos o solicitar modificaciones a los autores. Dispone además de un selecto grupo de profesionales externos y de diversos países, de variadas especialidades, que conforma el Comité Editor. De acuerdo al tema de cada trabajo, estos son enviados por el Editor a al menos dos miembros del Comité Editor para su calificación especializada. Los autores no son informados sobre quienes arbitran los trabajos.

La revista consta de dos secciones; Artículos Técnicos y Apuntes, puede incluir además artículos de actualidad sectorial en temas seleccionados por el Consejo Editor o el Editor.

- **Artículos:** Trabajos que contribuyen a ampliar el conocimiento científico o tecnológico, como resultado de investigaciones que han seguido un método científico.
- **Apuntes:** Comentarios o análisis de temas particulares, que presenten enfoques metodológicos novedosos, representen avances de investigación, informen sobre reuniones técnicas o programas de trabajo y otras actividades de interés dentro del sector forestal o de disciplinas relacionadas. Los apuntes pueden ser también notas bibliográficas que informan sobre publicaciones recientes, en el país o en el exterior, comentando su contenido e interés para el sector, en términos de desarrollo científico y tecnológico o como información básica para la planificación y toma de decisiones.

ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

Artículos

Los trabajos presentados para esta sección deberán contener Resumen, *Summary*, Introducción, Objetivos, Material y Método, Resultados, Discusión y Conclusiones, Reconocimientos (optativo) y Referencias. En casos muy justificados Apéndices y Anexos.

Título: El título del trabajo debe ser representativo del efectivo contenido del artículo y debe ser construido con el mínimo de palabras.

Resumen: Breve descripción de los objetivos, de la metodología y de los principales resultados y conclusiones. Su extensión máxima es de una página y al final debe incluir al menos tres palabras clave que faciliten la clasificación bibliográfica del artículo. No debe incluir referencias, cuadros ni figuras. Bajo el título se identificará a los autores y a pie de página su institución y dirección. El **Summary** es evidentemente la versión en inglés del Resumen.

Introducción: Como lo dice el título, este punto está destinado a introducir el tema, describir lo que se quiere resolver o aquello en lo que se necesita avanzar en materia de información, proporcionar antecedentes generales necesarios para el desarrollo o comprensión del trabajo, revisar información bibliográfica y avances previos, situar el trabajo dentro de un programa más amplio si es el caso, y otros aspectos pertinentes. Los Antecedentes Generales y la Revisión de Bibliografía pueden en ciertos casos requerir especial atención y mayor extensión, si así fuese, en forma excepcional puede ser reducida la Introducción a lo esencial e incluir estos puntos separadamente.

Objetivos: Breve enunciado de los fines generales del artículo o de la línea de investigación a que corresponda y definición de los objetivos específicos del artículo en particular.

Material y Método: Descripción clara de la metodología aplicada y, cuando corresponda, de los materiales empleados en las investigaciones o estudios que dan origen al trabajo. Si la metodología no es original se deberá citar claramente la fuente de información. Este punto puede incluir Cuadros y Figuras, siempre y cuando su información no resulte repetida con la entregada en texto.

Resultados: Punto reservado para todos los resultados obtenidos, estadísticamente respaldados cuando corresponda, y asociados directamente a los objetivos específicos antes enunciados. Puede incluir Cuadros y Figuras indispensables para la presentación de los resultados o para facilitar su comprensión, igual requisito deben cumplir los comentarios que aquí se pueda incluir.

Discusión y Conclusiones: Análisis e interpretación de los resultados obtenidos, sus limitaciones y su posible trascendencia. Relación con la bibliografía revisada y citada. Las conclusiones destacan lo más valioso de los resultados y pueden plantear necesidades consecuentes de mayor investigación o estudio o la continuación lógica de la línea de trabajo.

Reconocimientos: Punto optativo, donde el autor si lo considera necesario puede dar los créditos correspondientes a instituciones o personas que han colaborado en el desarrollo del trabajo o en su financiamiento. Obviamente se trata de un punto de muy reducida extensión.

Referencias: Identificación de todas las fuentes citadas en el documento, no debe incluir referencias que no han sido citadas en texto y deben aparecer todas aquellas citadas en éste.

Apéndices y Anexos: Deben ser incluidos solo si son indispensables para la comprensión del trabajo y su incorporación se justifica para reducir el texto. Es preciso recordar que los Apéndices contienen información o trabajo original del autor, en tanto que los Anexos contienen información complementaria que no es de elaboración propia.

Apuntes

Los trabajos presentados para esta sección tienen en principio la misma estructura descrita para los artículos, pero en este caso, según el tema, grado de avance de la investigación o actividad que los motiva, se puede adoptar una estructura más simple, obviando los puntos que resulten innecesarios.

PRESENTACION DE LOS TRABAJOS

La Revista acepta trabajos en español y ocasionalmente en inglés o portugués, redactadas en lenguaje universal, que pueda ser entendido no solo por especialistas, de modo de cumplir su objetivo de transferencia de conocimientos y difusión al sector forestal en general. No se acepta redacción en primera persona.

Formato tamaño carta (21,6 x 27,9 cm), márgenes 2,5 cm en todas direcciones, interlineado sencillo y un espacio libre entre párrafos. Letra Arial 10. Un tab (8 espacios) al inicio de cada párrafo. No numerar páginas. Justificación ambos lados. Extensión máxima trabajos 25 carillas para artículos y 15 para Apuntes. Usar formato abierto, no formatos predefinidos de Word que dificultan la edición.

Primera página incluye título en mayúsculas, negrita, centrado, letra Arial 10, una línea, eventualmente dos como máximo. Dos espacios bajo éste: Autor (es), minúsculas, letra 10 y llamado a pie de página indicando Institución, país y correo electrónico en letra Arial 8. Dos espacios más abajo el Resumen y, si el espacio resulta suficiente, el *Summary*. Si no lo es, página siguiente igual que anterior, el *Summary*.

En el caso de los Apuntes, en su primera página arriba tendrán el título del trabajo en mayúscula, negrita, letra 10 y autor (es), institución, país y correo, letra 10, normal minúsculas, bajo una línea horizontal, justificado a ambos lados, y bajo esto otra línea horizontal. Ej:

EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE COMO MOTOR DE EMPRENDIMIENTO DEL MUNDO RURAL: LA EXPERIENCIA EN CHILE. Víctor Vargas Rojas. Instituto Forestal. Ingeniero Forestal. Mg. Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente. vvargas@infor.cl

Título puntos principales (Resumen, *Summary*, Introducción, Objetivos, etc) en mayúsculas, negrita, letra 10, margen izquierdo. Solo para Introducción usar página nueva, resto puntos principales seguidos, separando con dos espacios antes y uno después de cada uno. Títulos secundarios en negrita, minúsculas, margen izquierdo. Títulos de tercer orden minúsculas margen izquierdo.

Si fuesen necesarios títulos de cuarto orden, usar minúsculas, un tab (7 espacios) y anteponer un guion y un espacio. Entre sub títulos y párrafos precedente y siguiente un espacio libre. En sub títulos con más de una palabra usar primera letra de palabras principales en mayúscula. No numerar puntos principales ni sub títulos.

Nombres de especies vegetales o animales: Vulgar o vernáculo en minúsculas toda la palabra, seguido de nombre en latín o científico entre paréntesis la primera vez que es mencionada la especie en el texto, en cursiva (no negrita), minúsculas y primera letra del género en mayúsculas. Ej. pino o pino radiata (*Pinus radiata*).

Citas de referencias bibliográficas: Sistema Autor, año. Ejemplo en citas en texto; De acuerdo a Rodríguez (1995) el comportamiento de..., o el comportamiento de... (Rodríguez, 1995). Si son dos autores; De acuerdo a Prado y Barros (1990) el comportamiento de ..., o el comportamiento de ... (Prado y Barros, 1990). Si son más de dos autores; De acuerdo a Mendoza *et al.* (1990), o el comportamiento ... (Mendoza *et al.*, 1990).

En el punto Referencias deben aparecer en orden alfabético por la inicial del apellido del primer autor, letra 8, todas las referencias citadas en texto y solo estas. En este punto la

identificación de la referencia debe ser completa: Autor (es), año. En negrita, minúsculas, primeras letras de palabras en mayúsculas y todos los autores en el orden que aparecen en la publicación, aquí no se usa *et al.* A continuación, en minúscula y letra 8, primeras letras de palabras principales en mayúscula, título completo y exacto de la publicación, incluyendo institución, editorial y otras informaciones cuando corresponda. Margen izquierdo con justificación ambos lados. Ejemplo:

En texto: (Yudelevich *et al.*, 1967) o Yudelevich *et al.* (1967) señalaron ...

En referencias:

Yudelevich, Moisés; Brown, Charles y Elgueta, Hernán, 1967. Clasificación Preliminar del Bosque Nativo de Chile. Instituto Forestal. Informe Técnico N° 27. Santiago, Chile.

Expresiones en Latín, como *et al.*; *a priori* y otras, así como palabras en otros idiomas como *stock*, *marketing*, *cluster*, *stakeholders*, *commodity* y otras, que son de frecuente uso, deben ser escritas en letra cursiva.

Cuadros y Figuras: Numeración correlativa: No deben repetir información dada en texto. Solo se acepta cuadros y figuras, no así tablas, gráficos, fotos u otras denominaciones. Toda forma tabulada de mostrar información se presentará como cuadro y al hacer mención en texto (Cuadro N° 1). Gráficos, fotos y similares serán presentadas como figuras y al ser mencionadas en texto (Figura N° 1). En ambos casos aparecerán enmarcados en línea simple y centrados en la página. En lo posible su contenido escrito, si lo hay, debe ser equivalente a la letra Arial 10 u 8 y el tamaño del cuadro o figura proporcionado al tamaño de la página.

Cuadros deben ser titulados como Cuadro N° , minúsculas, letra 8, negrita centrado en la parte superior de estos, debajo en mayúsculas, negritas letra 8 y centrado el título (una línea en lo posible). Las figuras en tanto serán tituladas como Figura N° , minúscula, letra 8, negrita, centrado, en la parte inferior de estas, y debajo en mayúsculas, letra 8, negrita, centrado, el título (una línea en lo posible). Si la diagramación y espacios lo requieren es posible recurrir a letra Arial *narrow*. Cuando la información proporcionada por estos medios no es original, bajo el marco debe aparecer entre paréntesis y letra 8 la fuente o cita que aparecerá también en referencias. Si hay símbolos u otros elementos que requieren explicación, se puede proceder de igual forma que con la fuente.

Se aceptan fotos en blanco y negro y en colores, siempre que reúnan las características de calidad y resolución que permitan su uso.

Abreviaturas, magnitudes y unidades deben estar atenuadas a la Norma NCh 30 del Instituto Nacional de Normalización (INN). Se empleará en todo caso el sistema métrico decimal. Al respecto es conveniente recordar que la unidades se abrevian en minúsculas, sin punto, con la excepción de litro (L) y de aquellas que provienen de apellidos de personas como grados Celsius (°C). Algunas unidades de uso muy frecuente: metro, que debe ser abreviado **m**, metro cúbico **m³**, metro ruma **mr**; o hectáreas **ha**.

Llamados a pie de página: Cuando estos son necesarios, serán numerados en forma correlativa y deben aparecer al pie en letra 8. No usar este recurso para citas bibliográficas, que deben aparecer como se indica en Referencias.

Archivos protegidos; "sólo lectura" o PDF serán rechazados de inmediato porque no es posible editarlos. La Revista se reserva el derecho de efectuar todas las modificaciones de carácter formal que el Comité Editor o el Editor estimen necesarias o convenientes, sin consulta al autor. Modificaciones en el contenido evidentemente son consultadas por el Editor al autor, si no

hay acuerdo se recurre nuevamente al Consejo Editor o a los miembros del Comité Editor que han participado en el arbitraje o calificación del trabajo.

ENVIO DE TRABAJOS

Procedimiento electrónico. En general bastará enviar archivo Word, abierto al Editor (sbarros@infor.gob.cl). El autor deberá indicar si propone el trabajo para Artículo o Apunte y asegurarse de recibir confirmación de la recepción conforme del trabajo por parte del Editor.

Cuadros y figuras ubicadas en su lugar en el texto, no en forma separada. El Editor podrá en algunos casos solicitar al autor algún material complementario en lo referente a cuadros y figuras (archivos Excel, imágenes, figuras, fotos, por ejemplo).

Respecto del peso de los archivos, tener presente que hasta 5 Mb es un límite razonable para los adjuntos por correo electrónico. No olvidar que las imágenes son pesadas, por lo que siempre al ser pegadas en texto Word es conveniente recurrir al pegado de imágenes como JPEG o de planillas Excel como Metarchivo Mejorado.

En un plazo de 30 días desde la recepción de un trabajo el Editor informará al autor principal sobre su aceptación (o rechazo) en primera instancia e indicará (condicionado al arbitraje del Comité Editor) el Volumen y Número en que el trabajo sería incluido. Posteriormente enviará a Comité Editor y en un plazo no mayor a 3 meses estará sancionada la situación del trabajo propuesto. Si se mantiene la información dada por el Editor originalmente y no hay observaciones de fondo por parte del Comité Editor, el trabajo es aceptado como fue propuesto (Artículo o Apunte), editado y pasa a publicación cuando y como se informó al inicio. Si no es así, el autor principal será informado sobre cualquier objeción, observación o variación, en un plazo total no superior a 4 meses.

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL

ARTICULOS	PÁGINAS
ANÁLISIS GENÉTICO DE RASGOS MORFOLÓGICOS DE LA SEMILLA, GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL EN RAULÍ (<i>Nothofagus alpina</i> (Poepp. & Endl.) Oerst.) Y ROBLE (<i>Nothofagus obliqua</i> (Mirb.) Oerst.) EN CHILE. Medina, Alex e Ipinza, Roberto. Chile	7
CONTROL GENETICO DE LA RESISTENCIA Y DEL ESCAPE A <i>Teratosphaeria nubilosa</i> EN <i>Eucalyptus globulus</i> EN URUGUAY. Balmelli, Gustavo; Simeto, Sofía; Torres-Dini, Diego; Castillo, Alicia; Altier, Nora; Mac Gregor, Juan y Diez, Julio. Uruguay	25
CRECIMIENTO DE <i>Eucalyptus camaldulensis</i> DEHNH. EN RELACIÓN A ATRIBUTOS EDAFOAMBIENTALES A NIVEL DE MICROSITIO EN LUJÁN, BUENOS AIRES, ARGENTINA. Craig, Elena y Momo, Fernando. Argentina	35
VARIAÇÃO GENÉTICA EM PROGÊNIES DE <i>Eucalyptus grandis</i> EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA REGIÃO CENTRO OESTE DO BRASIL. Carvalho, J. B; Moraes, M. L. T.; Moraes, M. A.; Miranda, A. C.; Silva, P. H. M.; Mori, E. S. y Paula, R. C. Brasil	51
EFFECTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y TEMPERATURA SOBRE EL DESPLIEGUE FOLIAR DE GENOTIPOS DE <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Eucalyptus nitens</i> E HÍBRIDOS CON <i>Eucalyptus camaldulensis</i> . Pincheira, Matías y Rubilar, Rafael. Chile	61
APUNTES	
EL GÉNERO <i>Eucalyptus</i> . Barros, Santiago. Chile	75
REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN	101

