

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL



Silvicultura y Utilización de Especies del
Género *Acacia*

INSTITUTO FORESTAL
CHILE



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

**SILVICULTURA Y UTILIZACIÓN ESPECIES
DEL GENERO ACACIA**

**CIENCIA E
INVESTIGACION
FORESTAL**

NOVIEMBRE 2007

Propiedad Intelectual
Registro N° 168816

RELACIONES INTERNACIONALES Y COMUNICACIONES INFOR

**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.

Directora	Marta Abalos Romero	INFOR	Chile
Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR – IUFRO	Chile
Consejo Editor	Sandra Perret Durán	INFOR La Serena	Chile
	Norberto Parra Hidalgo	INFOR Santiago	Chile
	Braulio Gutiérrez Caro	INFOR Concepción	Chile
	Jorge Cabrera Perramón	INFOR Valdivia	Chile
	Paulo Moreno Meynard	INFOR Coyhaique	Chile
Comité Editor	José Bava	CIEFAP	Argentina
	Leonardo Gallo	INTA	Argentina
	Mónica Gabay	SAYDS	Argentina
	Heinrich Schmutzhenhofer	IUFRO	Austria
	Marcos Drumond	EMBRAPA	Brasil
	Sebastiao Machado	UFPR	Brasil
	Antonio Vita	UCH	Chile
	Juan Gastó	PUC	Chile
	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
Dirección	Instituto Forestal Huérfanos 554 Casilla 3085 - Santiago, Chile Fono 56 2 6930720 Fax 56 2 6381286 Correo electrónico sbarros@infor.gob.cl		

Valor suscripción anual (tres números y eventualmente uno extraordinario): ch \$ 45.000 y 20.000 para estudiantes. Para el extranjero US \$ 90 y 40 para estudiantes, más costo envío. Valor números individuales ch \$ 20.000 y 10.000 y US \$ 40 y 20, en igual orden). 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.

EL GÉNERO ACACIA, ESPECIES MULTIPROPÓSITO

Santiago Barros Asenjo ¹

RESUMEN

Acacia es un género de arbustos y árboles de la Familia *Leguminosae*, Subfamilia *Mimosoideae*, compuesto por más de 1300 especies, que se distribuyen en forma natural en todos los continentes con la excepción de Europa. Más de 900 de estas especies son nativas de Australia y las restantes de las regiones tropicales secas y templadas cálidas de África, sur de Asia y América.

Al tratarse de un género tan grande y de tan amplia distribución, que prospera bajo una gran variedad de sitios, sus especies proporcionan múltiples productos y servicios, madereros, no madereros y ambientales, en sus áreas de origen y en otras regiones en donde se las ha introducido.

Diversas clasificaciones taxonómicas han sido dadas para este género. Actualmente son reconocidos tres subgéneros. No obstante, se sugiere que debieran ser reconocidos a lo menos cinco géneros diferentes y existe bastante consenso en la comunidad botánica en relación a la disparidad de grupos que conforman el Género *Acacia* y a la necesidad de separarlos taxonómicamente. Sin embargo las tendencias al respecto conducirían a que la gran mayoría de las especies del actual género, y en particular aquellas australianas, cambiarían nombre.

En este trabajo es presentada una visión general de la actual clasificación botánica de las acacias, se revisa las tendencias actuales hacia una reclasificación y las consecuencias que ésta tendría. Finalmente se describe las especies del género más conocidas y utilizadas en el mundo y en Chile.

Palabras claves: Acacia, taxonomía, especies principales del género.

¹ Ingeniero Forestal. Instituto Forestal. Chile sbarros@infor.gob.cl; www.infor.cl

THE GENUS ACACIA, MULTIPURPOSE SPECIES

SUMMARY

Acacia is a genus of the *Leguminosae* family and the *Mimosoideae* subfamily, represented by over than 1300 shrub and tree species native to all continents except for Europe. In excess of 900 of these species are native to Australia and the remaining to tropical dry and temperate regions in Africa, southern Asia and America.

This large genus, widely distributed and with a number of species growing under a great variety of site conditions, can supply many products and services, including wood and non wood goods, environmental benefits and others, within the natural distribution regions and in other regions where the species have been introduced.

Different botanical classifications have been proposed for the genus. Currently, three subgenera are recognized, but it is suggested that at least five different genera should be recognized and there are some consensus within the botanical international community on the need of that change in the taxonomy. However, this trend could have other consequences, changing the generic name of a big number of species, including most of the Australian species.

A general view of the current botanical classification and a review of the new classification trend and its possible consequences are presented in this paper. Finally, main species, world wide and in Chile, descriptions are included.

Keywords: *Acacia*, taxonomy, main species.

INTRODUCCIÓN

Acacia es un género de arbustos y árboles de la Familia *Leguminosae*, Subfamilia *Mimosoideae* (World'Wide Wattle, 2004), compuesto por más de 1300 especies, que se distribuyen en forma natural en todos los continentes con la excepción de Europa. Más de 900 de estas especies son nativas de Australia y las restantes de las regiones tropicales secas y templadas cálidas de África, sur de Asia y América. Estas especies son en general conocidas como *wattles* en Australia y como acacias, *thorn trees* y acacias paraguas o árboles paraguas en otras regiones.

El género alcanza por el norte hasta los 37° LN al sur de Utah en USA, con *Acacia greggii*, y al sur hasta los 43° LS en Tasmania Australia, con *Acacia dealbata*, *Acacia longifolia* y *Acacia melanoxylon*. Similar latitud alcanza *Acacia caven* en el sur, en la Provincia de Chubut Argentina.

El género comprende arbustos y árboles, que pueden llegar a 1 a 2 m, 6 a 20 m y hasta más de 40 m de altura. Sus hojas son variables, principalmente de dos tipos; compuestas pinnadas o filodios, estos últimos principalmente en especies australianas. Las hojas pueden estar también modificadas en algunas especies, presentándose como peciolos modificados que cumplen la función de hojas o incluso como espinas.

Las flores presentan cinco muy pequeños pétalos y están ordenadas en racimos globulares o cilíndricos, en la mayoría de las especies son de color amarillo, crema o blanquecino, aunque en algunas especies son púrpura o rojo.

Las especies a menudo presentan espinas, en especial aquellas de zonas áridas y semiáridas, que en algunos casos son ramas modificadas, cortas, duras y punzantes, y en otros corresponden a estipulas de las hojas modificadas.

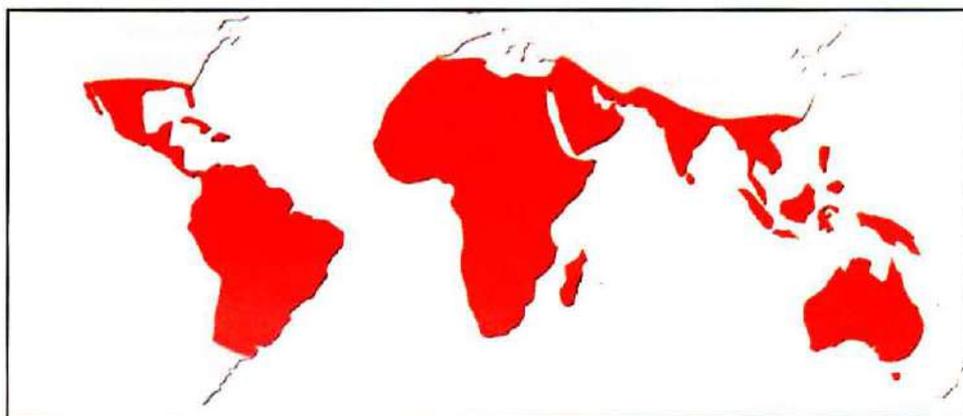
Al tratarse de un género tan grande y de tan amplia distribución, que prospera bajo una gran variedad de sitios, sus especies proporcionan múltiples productos y servicios, madereros, no madereros y ambientales, en sus áreas de origen y en otras regiones en donde se las ha introducido. Se trata de especies que son desde pequeños arbustos hasta grandes árboles y muchas de estas son especies forestales, de las cuales se puede producir madera aserrada, pulpa y papel, tableros y chapas y otros bienes. Muchas acacias también producen gomas, productos químicos, alimento humano, forraje, leña, carbón, postes y materiales para cercos, sin mencionar una variedad de aplicaciones ambientales, como protección de suelos, mejoramiento de suelos mediante fijación de nitrógeno, cortinas cortavientos y abrigo, contención de dunas, protección de riberas y otros.

No hay información sobre superficies globales cubiertas por formaciones naturales de acacia. Respecto de plantaciones con especies de este género en tanto, FAO – FRA (2000) estima su superficie global en 8,3 MM, encontrándose entre la más plantadas después de aquellas de los géneros *Pinus* (37,4 MM ha), *Eucalyptus* (17,9 MM ha) y *Hevea* (9,9 MM ha). Las plantaciones de acacias están fuertemente concentradas en Asia, con casi 8 MM ha, y África, con unas 350 M ha., sólo en India habrían 6,4 MM ha de acuerdo a FAO – FRA

(2000). La misma fuente, sin embargo, reporta que sólo el 50 % de las plantaciones forestales en Asia son de carácter comercial, sin indicación de especies, por lo que probablemente la superficie global de plantaciones de acacia con fines industriales sea de algo menos de 4 MM ha.

DISTRIBUCIÓN NATURAL, TAXONOMÍA Y NOMENCLATURA

El Género *Acacia* es el segundo mayor género de la Familia *Leguminosae*, después del Género *Astragalus*, y comprende actualmente 1.381 especies, distribuidas en todos los continentes con la excepción de Europa. Estas especies crecen en forma natural en climas tropicales, semitropicales y templados cálidos, 144 de ellas ocurren naturalmente en África, 185 en América, 89 en Asia y 993 en Oceanía (World Wide Wattle, 2004).



(World Wide Wattle, 2004)

Figura N° 1
DISTRIBUCIÓN NATURAL INDICATIVA DEL GÉNERO ACACIA

Diversas clasificaciones taxonómicas han sido dadas para este Género, desde Bentham (1875) hasta Maslin *et al* (2003) y éstas han incluido Géneros, Subgéneros, Series, Subseries y Secciones (World Wide Wattle, 2004), según se indica en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
PRINCIPALES CLASIFICACIONES DEL GÉNERO ACACIA DESDE BENTHAM (1875)

Bentham (1875)	Vasey (1875)	Pedley (1978)	Pedley (1986)	Maslin et al. (2003)
Gen Acacia	Gen Acacia	Gen Acacia	Gen Acacia	Gen Acacia
Ser Quercubae	Subgen Acacia	Subgen Acacia		
Ser Vulgares	Subgen Aculeiferum	Subgen Aculeiferum	Gen Senegalia	Gen Senegalia
Ser Filicinae	Sec. Monacanthae	Sec. Spiciflorae	Sec. Senegalia	Gen Acaciella
	Sec. Aculeiferum	Sec. Filicinae	Sec. Filicinae	Gen J. (1)
	Sec. Filicinae			Gen Racosperma
Ser Botrycephalae	Subgen Phylodineae	Subgen Phylodineae	Gen Racosperma	Gen Racosperma
Ser Phylodineae		Sec. Botrycephalae	Sec. Racosperma	
Subser Uninerves	Sec. Uninerves	Sec. Phylodineae		
Subser Continuae		Sec. Alatae		
Subser Alatae	Sec. Heterophyllum	Sec. Plurinerves	Sec. Plurinerve	
Subser Pungentes		Sec. Juliflorae	Sec. Juliflorae	
Subser Calamiterminae		Sec. Lycopodiiflorae	Sec. Lycopodiiflorae	
Subser Plurinerves				
Subser Juliflorae				
Subser Brunioidae				
Ser Puchhae	Sec. Puchhae	Sec. Puchhae	Sec. Puchhae	

Basado en el grupo de Acacia couleri

Actualmente se reconoce al género como compuesto por los tres subgéneros según Pedley (1978) (Maslin, 2003) y la proposición de Pedley (1986, cit por Maslin 2003), consistente en tres géneros, aunque existe consenso respecto de que *Acacia* comprende varios grupos dispares, no es ampliamente aceptada por la comunidad botánica y una de las principales objeciones radica en la complicación de alterar la nomenclatura dispersando este género cosmopolita y de gran número de especies.

No obstante, Maslin *et al.* (2003) (cit. por World Wide Wattle, 2004) sugieren posteriormente que debieran ser reconocidos a lo menos cinco géneros diferentes, como se indica en el Cuadro N° 1. World Wide Wattle (2004a) y Maslin (2003) señalan números de especies por grupo y continente y la primera de estas fuentes señala que la clasificación actual del género reconoce cinco grandes grupos, esta información aparece resumida en el Cuadro N° 2. De acuerdo a World Wide Wattle (2004), la distribución natural de los cinco grandes grupos es la indicada en la Figura N° 2.

Cuadro N° 2
NÚMERO DE ESPECIES DESCRITAS POR GRUPO Y CONTINENTE

GRUPO	AMÉRICA	ÁFRICA	ASIA	AUSTRALIA Y PACÍFICO	TOTAL
(N° Especies)					
Subgénero Acacia	60	73	36 a	9	182
Subgénero Aculeiferum	97	69	43 b	2 d	213
Sección Filicinae	15				15
Grupo Acacia couleri	13				13
Subgénero Phylodineae		2	10 c	982	997
TOTAL	185	144	89	992	1310

a. Incluye 11 especies que ocurren también en África.

b. Incluye 7 especies que ocurren también en África.

c. Incluye 7 especies que ocurren también en Australia.

d. Incluye 1 especie que ocurre también en Asia.



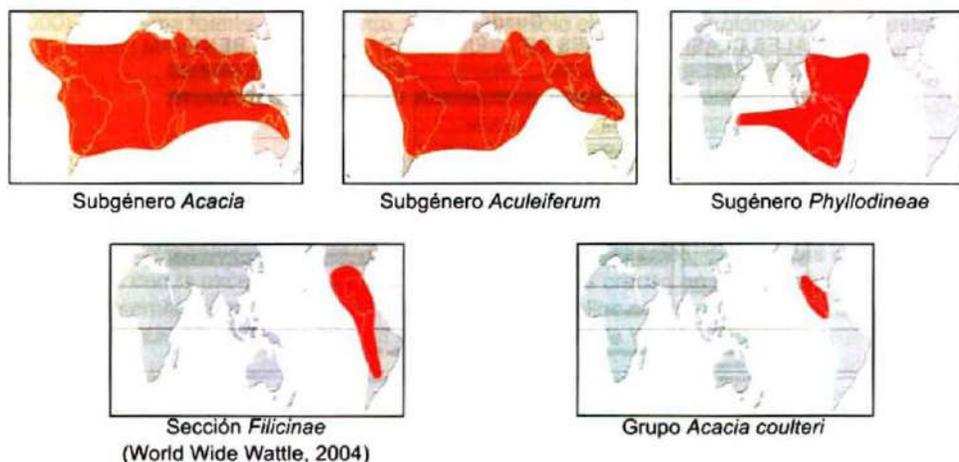


Figura N° 2
DISTRIBUCIÓN NATURAL INDICATIVA DE LOS GRUPOS

Maslin (2003) destaca que las especies del género se concentran en el Subgénero *Phyllodineae*, que la gran mayoría de las especies de este subgénero ocurre naturalmente en Australia y que los otros dos subgéneros son muy poco comunes en este país. Los grupos representados por la sección *Filicinae* y *Acacia coulteri* en tanto, no estarían presentes en forma natural en Australia.

Se ha mencionado ya que existe bastante consenso en la comunidad botánica en relación a la disparidad de grupos que conforman el Género *Acacia* y a la necesidad de separarlos taxonómicamente, sin embargo las tendencias al respecto (Pedley, 1986 y Maslin *et al.*, 2003) conducirían a que la gran mayoría de las especies del actual género, y en particular aquellas australianas (Subgénero *Phyllodineae*), cambiarían nombre y pasarían a ser denominadas como *Racosperma* spp. Esta situación ha provocado gran inquietud entre los especialistas, en especial los australianos, por las consecuencias prácticas, culturales y comerciales de un cambio de estas características. Un ejemplo de esto es que *Acacia pycnantha* es la flor nacional australiana y de ella derivan también los colores nacionales, amarillo y verde.

(World Wide Wattle, 2004)



Figura N° 3
***Acacia pycnantha* FLORES Y DISTRIBUCIÓN NATURAL EN AUSTRALIA**

La inquietud de los especialistas australianos se manifiesta en forma concreta cuando Orchard and Maslin (2003) hacen una proposición formal a la comunidad botánica internacional, para conservar el nombre *Acacia* para el grupo principal y mayoritario de especies, consistente en reemplazar la especie tipo del género. En botánica, el grupo que incluye la especie tipo del nombre retiene el nombre, y en el Género *Acacia* la especie tipo aceptada por mucho tiempo es *Acacia nilotica*, originaria de África y Asia (Maslin and Orchard, 2006). Los especialistas mencionados proponen el reemplazo de *Acacia nilotica* (Subgénero *Acacia*) por *Acacia penninervis* (Subgénero *Phyllodineae*).



Figura N° 4.

***Acacia nilotica* y *Acacia penninervis*. FLORES, FRUTOS Y DISTRIBUCIÓN NATURAL**

Si se mantiene *A nilotica* como especie tipo y se producen las inminentes modificaciones en la taxonomía del género, el 45 % de las especies no australianas (alrededor de la mitad de las de África y Asia y un tercio de las de América) retendrían el nombre *Acacia*, en tanto que el 55 % cambiaría a *Senegalia*, y casi todas las especies australianas cambiarían a *Racosperma*. Si se acepta el cambio propuesto por *A penninervis*, la casi totalidad de las especies australianas conserva el nombre *Acacia*, el 45 % de la no australianas recibirían el nombre *Vachellia* y el 55 % restante de éstas igualmente cambia a *Senegalia* (Maslin and Orchard, 2006).

En el año 2005, en el Congreso Internacional de Botánica en Viena, es aceptada la proposición de Orchard and Maslin (2003), considerándose que la estabilidad de la taxonomía global de este vasto género es menos afectada con este cambio. Las consecuencias de esto serían de acuerdo a Maslin (2006) las que se indica en el Cuadro N° 3, según la situación actual y la futura bajo escenarios de *Acacia* como género único o como varios géneros.



Cuadro N° 3
CAMBIOS EN LA CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL GÉNERO ACACIA

GRUPO Pre IBC 2005 Especie tipo: <i>A. nilotica</i>		GRUPO Post IBC 2005 Especie tipo: <i>A. penninervis</i>	
Género Único		Varios Géneros	
Género <i>Acacia</i>	Género <i>Acacia</i>	Género <i>Vachellia</i>	
Subgénero <i>Acacia</i>	Subgénero X		
Subgénero <i>Aculeiferum</i>	Subgénero <i>Aculeiferum</i>		
Sección <i>Spiciflorae</i>	Sección <i>Spiciflorae</i>	Género <i>Senegalia</i>	
Sección <i>Filicinae</i>	Sección <i>Filicinae</i>	Género <i>Acaciella</i>	
Grupo <i>Acacia coulteri</i>	Grupo <i>Acacia coulteri</i>	Género <i>Mariosousa</i>	
Subgénero <i>Phyllodineae</i>	Subgénero <i>Acacia</i>	Género <i>Acacia</i>	

IBC 2005: Congreso Internacional Botánica Viena 2005

El cambio significa que, en la medida el actual género sea dividido en el futuro, el nombre genérico *Acacia* se conserva para todas las acacias australianas que corresponden al Subgénero *Phyllodineae* (ahora Subgénero *Acacia*), lo mismo ocurre con siete especies de islas del Pacífico, una o dos de Madagascar y diez de Asia tropical. Sólo unas once especies australianas cambiarían su nombre genérico a *Vachellia* y dos a *Senegalia* (Centre for Plant Biodiversity Research, 2006). En cuanto a las especies no australianas; aquellas de África, Asia y América, el 45 % de ellas cambiaría a *Vachellia* y el 55 % restante a *Senegalia*, cambio este último que se produciría de todos modos, independientemente del reemplazo de la especie tipo por *Acacia penninervis*.

En síntesis, la casi totalidad de las acacias australianas conservarían el nombre genérico *Acacia* y éstas constituyen al menos el 70 % de las actuales acacias, cerca de mil especies, incluida la mayoría de las especies más conocidas y de mayor importancia comercial. Fuera de Oceanía, sólo un par de especies de Madagascar y diez de África conservan el nombre.

Respecto de las restantes, algo más de 150 especies del actual Subgénero *Acacia* en África, Asia y América, cambiarían a *Vachellia*, y unas 200 especies del actual Subgénero *Aculeiferum* también en África, Asia y América, cambiarían a *Senegalia*. Aquellas del Subgénero *Filicinae*, principalmente en Centro América, cambiarían a *Acaciella*, y las del grupo de *Acacia coulteri* en Centro América, pasarían a ser llamadas *Mariosousa* (Maslin and Orchard, 2006).

La situación descrita sería muy satisfactoria para Australia, que conservaría el nombre genérico *Acacia* para la gran mayoría de sus especies. Sin embargo, no lo sería tanto para

los restantes países y continentes, que tienen una buena cantidad de especies del actual género también, en especial para África que cuenta con numerosas acacias, tal vez más características y típicas para los no australianos que aquellas de Australia.

Surgen así opiniones discordantes, como la de la Sociedad Botánica de Sudáfrica (2007), que señala que por más de 250 años África ha sido el hogar de acacias, que ahora podría tener que llamar *Senegalia*, sostiene que en taxonomía la regla aceptada es que el primer nombre publicado tiene precedencia y que este corresponde a la especie africana *Acacia nilotica* descrita en 1753 e indica que los cambios propuestos no han sido ampliamente consultados y corresponderían sólo a una iniciativa de los especialistas australianos.

En términos generales, parece tan disonante y tan contraproducente para la estabilidad taxonómica global llamar *Racosperma melanoxylo* o *Vachelia melanoxylo* a la *Acacia melanoxylo* como llamar *Senegalia tortilis* a la *Acacia tortilis*.

Parece obvia, como solución desde el punto de vista práctico, la conservación del nombre genérico *Acacia* para todas las especies y el empleo de las denominaciones propuestas como géneros en el Cuadro N° 3; *Vachelia*, *Senegalia*, *Acaciella*, *Mariosousa* y *Acacia*, a un nivel de subgénero. Sin embargo, esta es una materia que evidentemente deberá dirimir la comunidad botánica internacional con la amplia participación de todos los interesados y afectados.

PRINCIPALES ESPECIES

Acacias en el Mundo

Entre las numerosas especies del género, una cantidad de ellas son conocidas en muchos países del mundo fuera de sus regiones de origen por haber sido introducidas en éstos antiguamente con distintos fines; como ornamentación, colonización de áreas degradadas, contención de dunas, mejoramiento de suelos y producción de madera, leña, carbón, pulpa, curtientes u otros productos.

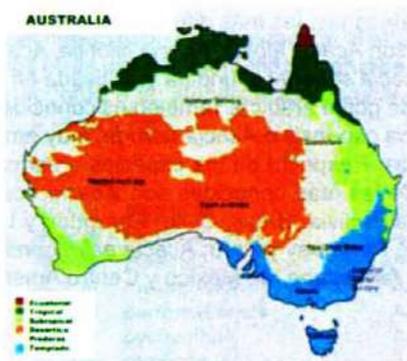


Figura N° 5
REGIONES CLIMÁTICAS EN AUSTRALIA



Acacias australianas son cultivadas en más de 70 países del mundo donde las plantaciones alcanzan actualmente a unos 2 MM ha (Maslin *et al.*, 2003). De las especies australianas, probablemente las más conocidas en muchos países del mundo son *Acacia melanoxylon*, *Acacia dealbata* y *Acacia saligna*, para climas templados las dos primeras y para zonas semiáridas la última. *Acacia mearnsii*, para zonas semiáridas y templadas, se ha hecho conocida tal vez más recientemente para obtención de curtientes vegetales, por el alto contenido de taninos en su corteza, y hoy es ampliamente cultivada en Sudáfrica, Brasil y otros países. Algunas especies del norte de Australia y del sur de Asia, como *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa*, y *Acacia mangium* en forma más reciente, están siendo incorporadas crecientemente en extensos programas de forestación en el sur de Asia para la producción de madera y pulpa y papel.

Más de 300 M ha de plantaciones de *Acacia mearnsii* existen en Sudáfrica, Brasil, China y Vietnam y a base de éstas hay un importante mercado mundial de taninos, madera y astillas de madera (Maslin *et al.*, 2003).

En China, Malasia, Indonesia, Papua Nueva Guinea, Filipinas, Tailandia y Vietnam, *Acacia auriculiformis*, *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium* y un híbrido *Acacia auriculiformis* x *Acacia mangium* son las especies centrales de las plantaciones existentes y de los programas de plantación y el área plantada supera los 1.8 MM ha, principalmente de *Acacia mangium*, con alrededor de 1,5 MM ha. En Vietnam el híbrido ha adquirido gran importancia, a fines del año 2004 el país ya tenía 127 M ha y solo ese año se habían plantado 46 M ha. En Sumatra, Indonesia, ya existen más de 200 M ha de plantaciones comerciales de *Acacia crassicarpa* (Midgley, 2006).

Además de las mencionadas, hay una cantidad de otras especies australianas de interés, por ejemplo *Acacia melanoxylon* es cultivada como una madera de alta calidad para mueblería y otros usos en Sudáfrica y Nueva Zelanda, y *Acacia saligna* es ampliamente cultivada fuera de Australia y se estima que hay actualmente unas 500 M ha de plantaciones con fines agroforestales y de conservación de suelos en países de Asia y África (Maslin *et al.*, 2003).

Entre las especies africanas, las más difundidas, principalmente para forestación en zonas áridas y semiáridas, son *Acacia albida*, *Acacia nilótica*, *Acacia senegal* y *Acacia tortilis*. La principal de éstas es *Acacia senegal* difundida y cultivada en diferentes países de África y Asia, para la producción de goma arábiga. También es conocida y difundida *Acacia karroo*, antes conocida como *Acacia capensis* o *Acacia horrida*, muy empleada en cercos vivos por sus largas y fuertes espinas. Respecto de las especies americanas en tanto, existe poca información, probablemente las más conocidas son *Acacia coulteri*, del norte de México; *Acacia caven*, de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay; *Acacia aroma*, de Argentina, Bolivia, Ecuador, Paraguay y Perú; *Acacia astringens*, de sectores de Argentina, Paraguay y Perú; y *Acacia farnesiana*, de México y Centro América.

Acacias en Chile

En Chile existe una cantidad de especies del Género *Acacia*, introducidas al país en diferentes momentos y con distintos fines, pero sólo una especie nativa del género, *Acacia cavendishii*, que ocurre naturalmente desde la Región de Atacama hasta la Región del Bio Bio, además de estar presente en Argentina, Uruguay y el sur de Brasil, Paraguay y Bolivia.

Al inicio del Siglo XX Federico Albert (1908; 1909) ya informaba sobre especies útiles para la forestación a lo largo del país y entre éstas incluía *Acacia melanoxylon*, mencionando otras que habían sido probadas también, principalmente en trabajos de contención de dunas litorales, como *Acacia dealbata*, *Acacia decurrens*, *Acacia armata* y *Acacia eburnea*.

A mitad del siglo fue introducida *Acacia saligna*, conocida entonces como *Acacia cyanophylla*, para trabajos en dunas y posteriormente para forestación en zonas semiáridas, en donde sucesivos trabajos de investigación de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), de fomento de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y de investigación y transferencia del Instituto Forestal (INFOR) han resultado en la existencia de más de 10 M ha plantadas en la Región de Coquimbo.

En los años 80 INFOR introdujo una colección de procedencias de semilla de *Acacia mearnsii*, como una especie potencialmente valiosa para la zona semiárida y la zona centro sur del país, para la producción de cortinas vegetales, madera y otros productos. Algunas de estas procedencias resultaron ser *Acacia parramattensis*, según informó CSIRO Australia posteriormente.

Diferentes trabajos de INFOR y CONAF realizados en la zona semiárida chilena, entre los años 1865 y 1986, introdujeron experimentalmente algo más de 20 especies del género en la zona semiárida, pero estos trabajos fueron descontinuados prematuramente debido a fuertes perturbaciones de los dispositivos experimentales por acción de ganado caprino y de conejos y liebres. Existen también en el país diversas especies que se encuentran en parques y jardines, como *Acacia cultriformis*, *Acacia longifolia* y varias otras.

Barros (1997) revisa la información de los ensayos efectuados en la zona semiárida y encuentra que entre muchas otras han sido sometidas a prueba de adaptación 23 especies del Género *Acacia*, que de acuerdo a su identificación original en estos ensayos, son las siguientes:

<i>Acacia aneura</i>	<i>Acacia longifolia</i>	<i>Acacia salicina</i>
<i>Acacia brachybotrya</i>	<i>Acacia pendula</i>	<i>Acacia saligna</i>
<i>Acacia capensis</i>	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Acacia semperflorans</i>
<i>Acacia cavendishii</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Acacia seyal</i>
<i>Acacia cyclops</i>	<i>Acacia parramattensis</i>	<i>Acacia tortilis var tortilis</i>
<i>Acacia dealbata</i>	<i>Acacia pycnantha</i>	<i>Acacia tortilis var radiana</i>
<i>Acacia decurrens</i>	<i>Acacia raddiana</i>	<i>Acacia victoriae</i>
<i>Acacia hakeoides</i>	<i>Acacia retinoides</i>	



Actualmente se sabe que *Acacia capensis*, también conocida como *Acacia horrida*, relativamente asilvestrada en el país y comúnmente empleada en cercos verdes debido a sus grandes y fuertes espinas, corresponde a *Acacia karroo*, de origen africano. *Acacia raddiana* es hoy reconocida como una subespecie de *Acacia tortilis*, también originaria de África. *Acacia semperflorens*, también conocida como *Acacia floribunda*, es sinónimo de *Acacia retinoides*, de origen australiano, y hoy reconocida con este último nombre. La variedades de *Acacia tortilis* en tanto, son actualmente reconocidas como subespecies de ésta. La lista se reduce así a 20 especies, que sumadas a algunas otras usadas como ornamentales en parques y jardines, serían las acacias presentes en Chile.

Barros (1997), a base de los resultados iniciales de los ensayos efectuados en diferentes sectores de las Regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana, concluye que todas estas especies son de interés para la zona semiárida del país, con la excepción de *Acacia dealbata* y *Acacia melanoxylon*, que requieren de mayor pluviometría.

Se trata de especies fijadoras de nitrógeno, de uso múltiple y resistentes a severas condiciones de sitio, que en uno o más ensayos han mostrado respuestas iniciales de supervivencia y desarrollo prometedoras como para incluirlas en ensayos que incorporen procedencias de semilla adecuadas, en parcelas pequeñas, para una rápida fase de prueba de adaptación, en lugares debidamente protegidos para evitar perturbaciones.

Los resultados iniciales obtenidos con *Acacia pycnantha* y *Acacia mearnsii* hacen recomendables ensayos en una fase más avanzada, en parcelas algo más grandes, incorporando colecciones de procedencias y progenies y una etapa de evaluación más prolongada.

Acacia saligna es una especie ya incorporada a la forestación en la Región de Coquimbo, donde ya existen más de 10 M ha plantadas, e INFOR continúa desarrollando trabajos de investigación en torno a su silvicultura, mejoramiento genético y utilización.

En lo referente a *Acacia caven*, especie nativa en la zona semiárida, existe un permanente interés en ésta y son desarrollados estudios principalmente enfocados a su uso en sistemas integrados de producción, agroforestales y silvopastorales, y a su importante rol ambiental en protección y mejoramiento de suelos.

Respecto de *Acacia melanoxylon* y *Acacia dealbata*, y más recientemente de *Acacia mearnsii*, estas especies son objeto de principal atención en diferentes líneas de investigación de INFOR en la zona centro sur del país, con mayor pluviosidad (600 a 1500 mm anuales), en aspectos de silvicultura, mejoramiento genético y utilización con fines productivos, como madera aserrada, pulpa y papel, tableros, cortinas vegetales y otros, y los resultados que se está obteniendo son en general muy positivos. En el caso de *Acacia dealbata* y *Acacia melanoxylon*, su manejo silvícola debe ser cuidadoso debido a que, por su rápida y fácil propagación, bajo condiciones favorables y sin un adecuado manejo se tornan invasoras. De hecho, en la Región del Bio Bio existen sectores en que estas especies han invadido áreas despejadas y plantaciones de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* u otras especies.

Acacia albida Del. Acacia – Ana Tree – Winter Thorn**Sugénero *Aculeiferum***

Su área principal de distribución natural es gran parte de África, en la parte norte se extiende desde Senegal y Gambia por el oeste hasta Egipto, Sudán, Etiopía y Somalia, y hacia el sur a través de África oriental a Transvaal, Natal y Lesotho y por el oeste a Angola y Namibia (Brenan, 1983; Duke, 1983).

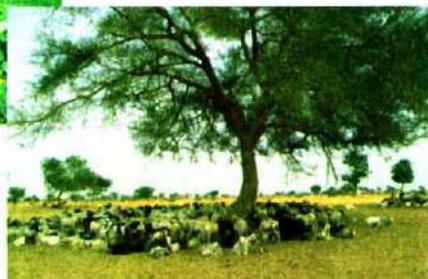


La especie varía desde arbustos de no más de 4 m de altura hasta árboles de hasta 30 m de altura y 2 m de diámetro (ocasionalmente 6 m de diámetro), normalmente fuste único. Copa redondeada y abierta y hojas bipinnadas que caen en la época de lluvias. Espinas de 0,2 a 3,2 cm de largo, en pares. Flores amarillo-crema, en espigas de 3,5 a 17 cm de largo. Vainas anaranjadas a pardo rojizas, en espiral o torcidas, indehiscentes, con 11 a 29 semillas por vaina (Brenan, 1983). Hay 7500 a 10000 semillas por kilo de semilla, éstas deben ser pretratadas en agua caliente y dejar en remojo por 24 h para mejorar su germinación (Mulofwa *et al.*, 1994).

Se la encuentra en una amplia variedad de suelos y climas en las zonas semiáridas de África, presenta un crecimiento inicial lento, pero posteriormente en buenos sitios es relativamente rápido (Mulofwa *et al.*, 1994). Prospera en zona tropicales y subtropicales con 300 a 600 mm de precipitación media anual, es el árbol espinoso de mayor tamaño en los bosques de sabana, prefiere suelos arenosos, pero tolera suelos pesados con inundaciones ocasionales (Duke, 1983). Especie ampliamente usada en combinación con cultivos, que se ven significativamente beneficiados por su capacidad de fijar nitrógeno y por su característica de perder la hoja en la estación de lluvias. Sus hojas y vainas son consumidas por el ganado, la goma exudada en forma espontánea en el tronco es colectada como goma arábiga, la madera es empleada en canoas y morteros y como leña de relativa calidad (Duke, 1983).



(FAO, 1993)



Acacia auriculiformis A. Cunn. Ex Benth Ear Pod Wattle – Northern Black Wattle**Subgénero Phyllodineae**

Especie originaria de Australia; Península de Cape York QLD y el norte de Northern Territory (NT); y de Papua Nueva Guinea e Indonesia. Entre los 5 y 17° LS es encontrada principalmente desde cerca del nivel del mar hasta 100 msnm (DEWR, 2007).



Es una especie de rápido crecimiento que en sitios favorables puede alcanzar 30 m de altura, aunque son corrientes árboles más pequeños de 8 a 20 m. Sus hojas son filodios, rectos o curvos, de 8 a 20 cm de largo y 1 a 4 cm de ancho, con tres prominentes nervios longitudinales. Las flores son amarillo brillante en espigas de hasta 8 cm de largo. Las vainas son aplanadas, algo leñosas, de 7 cm de largo y 2 cm de ancho, y cuando maduran se tornan enroscadas y torcidas. Produce gran cantidad de semillas a temprana edad y hay alrededor de 70.000 semillas viables por kilo de semilla. Su germinación mejora con un pretratamiento en agua hirviendo por un minuto (DEWR, 2007).

Su distribución natural corresponde a zonas cálidas húmedas y subhúmedas sin presencia de heladas. El rango de precipitación anual es de 1000 a 1500 mm principalmente de régimen estival. En Australia crece en tierras bajas lateríticas y en planicies costeras, frecuentemente a lo largo de riberas de ríos y canales de drenaje. Puede desarrollarse en suelos arenosos y también en suelos arcillosos y soporta inundaciones, alta salinidad y alta alcalinidad. Tiene gran habilidad para prosperar en duras condiciones de sitios en los trópicos. Es frecuentemente la principal especie en bosques abiertos a lo largo de cursos de agua y en Papua Nueva Guinea es una componente de bosques de pantanos dominados por *Melaleuca* spp. (DEWR, 2007).

Esta especie de rápido crecimiento ha sido extensamente plantada, especialmente en Asia y también en África y Sudamérica, para combustible, control de erosión, ornamentación y abrigo. En Asia se la usa para pulpa y papel y para madera, e híbridos con *Acacia mangium* muestran grandes posibilidades para estos fines productivos en Vietnam.



(World Wide Wattle, 2004)



La madera de corazón es café claro a rojo oscuro y de grano fino, por lo que es muy atractiva para mueblería.

Produce gran cantidad de semillas y crece rápidamente, lo que sugiere un potencial para transformarse en maleza invasora bajo circunstancias favorables. Los árboles jóvenes son susceptibles a daño por fuego. Ejemplares viejos retoñan pobremente (DEWR, 2007).

Acacia cavendishii Espino**Sugénero Acacia**

Especie de zonas semiáridas de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. En Chile se la encuentra desde Copiapó en la Región de Atacama hasta el sur de Chillán en la Región del Bío Bío.



Arbusto o pequeño árbol de hasta 6 m de altura y 50 cm de diámetro, caducifolio o parcialmente caducifolio en invierno, con espinas de color blanco de hasta 2 cm de largo en pares en la base de las hojas, y de copa redondeada o achatada (paraguas). Presenta fuste corto único cuando es de primer crecimiento o múltiples fustes cuando proviene de retoños de cepa o de raíces. Hojas bipinnadas y flores en cabezas globulares amarillas doradas a anaranjadas, de 1 cm de diámetro. Las vainas son fascículos fusiformes, duros, café oscuros, persistentes, indehiscentes, de 3 a 10 cm de largo y 1,5 a 2,5 cm de grosor, terminados en una punta relativamente punzante, con semillas elipsoides, lisas, de color oliváceo y 5 a 9 mm de largo.

En Chile la especie se presenta en formaciones puras abiertas y de baja densidad en la zona norte hasta extensos espinales puros o combinados con el bosque esclerófilo o con formaciones de palma chilena y otras especies en el secano del valle central hacia la zona sur. Las precipitaciones varían desde 100 a 1000 mm anuales, con una estación seca prolongada que oscila entre 10 y 11 meses secos en la zona norte hasta 3 a 5 en la zona sur. Las temperaturas medias anuales son de 13 - 17 °C, las mínimas absolutas pueden llegar a -7 a -8 °C y las máximas absolutas a 35 - 36 °C. Prospera bien en una variedad de condiciones de suelos; desde áreas bajas con suelos profundos y de texturas livianas a medias, pardo cálcicos, hasta suelos delgados, erosionados y pedregosos, con bajo contenido de materia orgánica, e incluso en suelos muy delgados con horizontes cementados. Se desarrolla también en planicies costeras con suelos sedimentarios. Prefiere las topografías suaves, aunque su ocurrencia natural va desde el nivel del mar hasta unos 1800 msnm (Enciclopedia de la Flora Chilena, 2007).

Es una especie fijadora de nitrógeno, valiosa en combinaciones agroforestales, los

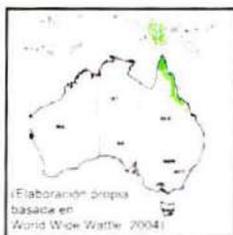
animales ramonean su follaje y comen sus vainas. Tiene un buen valor melífero en primavera. La madera es densa, pesada, con el corazón café oscuro, constituye un excelente material para leña y carbón y para usos menores en torneados y artesanías. Rebrotan muy bien desde las cepas cortadas o quemadas y también lo hace desde raíces, lo que facilita su regeneración y su manejo como monte bajo.



Acacia crassicarpa Cunn. Ex Benth. Thick Podded Salwood – Northern Wattle

Subgénero *Phyllodineae*

Su distribución natural incluye tierras bajas tropicales en el NE de QLD en Australia, áreas en el SO de Papua Nueva Guinea y en el SE de Indonesia. Entre los 8 y 20° LS se presenta principalmente bajo los 200 msnm (DEWR, 2007).



Especie de muy rápido crecimiento, fijadora de nitrógeno, arbusto que raramente excede los 15 m de altura en QLD, pero que en Papua Nueva Guinea alcanza hasta 30 m con fuste óenico. Sus hojas son filodios lisos, curvados, color gris-verde, de 4 a 7 cm de largo y 1 a 4 cm de ancho y numerosos nervios longitudinales. Las flores son amarillo brillante en espigas de 4 a 7 cm de largo, en grupos de 2 a 6. Las vainas son café pálido, oblongas, leñosas, planas o torcidas, de 5 a 8 cm de largo y 2 a 4 cm de ancho y con venas oblicuas. Hay unas 36.000 semillas por kilo de semilla y requieren de pretratamiento en agua hirviendo por un minuto para asegurar germinación en viveros

Esta acacia se encuentra en zonas cálidas, húmedas y subhúmedas, con precipitaciones medias anuales de 1000 a 3500 mm, que siguen el régimen del monzón. Todo el rango de distribución natural es libre de heladas. En Australia es común tras dunas litorales, en laderas de dunas estabilizadas y en planicies costeras y piedemontes. En Papua Nueva Guinea se presenta en los planos aluviales suavemente ondulados de Oriomo Plateau. Se encuentra a esta especie principalmente en suelos bien drenados, fuertemente ácidos y de baja fertilidad, aunque también en suelos pobremente drenados sujetos a inundaciones. En QLD es frecuente bajo el dosel de bosques abiertos de eucaliptos dominados por *Eucalyptus pellita*, *E. tereticornis* y otros, y en tierras bajas, cercanas a la playa asociada con *Casuarina equisetifolia*. En Papua Nueva Guinea e Indonesia normalmente rodea pantanos asociada con *Acacia auriculiformis*, *A. mangium*, *Melaleuca* spp y otras especies (DEWR, 2007).



La madera es café-oro, fuerte y durable y moderadamente pesada. Se la emplea en construcciones pesadas, mueblería, construcción de embarcaciones menores, pisos y chapas. Es una de las acacias tropicales de más rápido crecimiento, importantes superficies han sido plantadas con ella en Sumatra, Indonesia, para la producción de pulpa y papel, y se la considera muy promisoría para la rehabilitación de áreas mineras en Malasia. Se recomienda una adecuada selección de procedencias de semilla debido a su alta variabilidad a través de su rango de ocurrencia natural (DEWR, 2007).

Acacia dealbata Link. Silver Wattle - Aromo**Subgénero *Phyllodineae***

Su área de distribución natural abarca principalmente los Alpes australianos, desde el norte de NSW hasta el medio oeste de VIC y la Isla de Tasmania, entre los 29 y 43° LS. Se encuentra a esta especie principalmente entre los 250 y 900 msnm. Se la encuentra así en NSW, ACT, VIC y TAS (DEWR, 2007).



Es un arbusto o árbol de rápido crecimiento, fijador de nitrógeno, que puede alcanzar desde 6 a 30 m de altura. El follaje es bipinnado, azul-gris a plateado. Las flores son Amarillo oro, en cabezas globulares y florece abundantemente. Las vainas son más o menos rectas, planas, levantadas sobre las semillas y de color café-púrpuro suave. Presenta unas 53.000 semillas viables por kilo de semillas y deben ser pretratadas en agua hirviendo por un minuto para mejorar la germinación en viveros (DEWR, 2007).

Su distribución natural incluye áreas subhúmedas frías a cálidas donde el promedio de heladas anuales es de 20 a 80. Resiste heladas en este rango de ocurrencia y es una de las acacias más tolerantes a frío. La precipitación media es de 600 a 1000 mm anuales, con máximo en verano en la parte norte y en invierno en la parte sur. Crece principalmente en topografías onduladas y en áreas de depósitos fluviales, usualmente en suelos de drenaje moderado a bueno. Su mejor desarrollo lo alcanza en sitios abrigados en bosques abiertos altos entre grandes eucaliptos, como *Eucalyptus regnans* y *Eucalyptus delegatensis* (DEWR, 2007).



La especie ha sido ampliamente cultivada para uso ornamental y para uso en los campos como cortavientos y para control de erosión. Se la usa también para la producción de flores, aceites aromáticos para perfumería y extracción de taninos para curtiembre desde su corteza, aunque de pobre calidad comparado con los extraídos de *Acacia mearnsii*.

El corazón de la madera es de color café claro hasta rosáceo y se la usa para mueblería. Es de buena calidad para pulpa y papel y satisfactoria para combustible.

Su manejo debe ser muy cuidadoso, en Sudáfrica y en parte de India se ha transformado en un serio problema por su carácter invasor, debido a su rápida propagación por semillas y brotes de raíz (DEWR, 2007; World Wide Wattle, 2004a).



Acacia mangium Wild. Mangium – Hickory Wattle**Subgénero Phyllodineae**

Esta acacia ocurre naturalmente en Australia solo en el norte de QLD, en zonas tropicales costeras, bajas, pero se extiende a través del sur de Papua Nueva Guinea hacia el este de Indonesia. Su principal ocurrencia natural es entre los 8 y 18° LS y desde el nivel del mar hasta 300 msnm (DEWR, 2007).



Se trata de una especie de muy rápido crecimiento y los árboles pueden alcanzar 30 m de altura con un tronco recto. No es una especie muy longeva, árboles sobre 50 cm de diámetros son raros. Las hojas maduras son filodios largos, hasta 25 cm y 5 a 10 cm de ancho, de color verde oscuro, glabros y caracterizados por cuatro nervios longitudinales principales. Las flores son blanca o crema, en espigas de hasta 10 cm de largo. Las vainas tienen unos 7 cm de largo y 0,3 a 0,5 cm de ancho, levemente leñosas y apretadamente enrolladas cuando maduran. La producción de semillas es muy temprana, 2 ó 3 años, y hay unas 64.000 semillas viables por kilo de semilla. Necesitan pretratamiento en agua hirviendo por 30 segundos para asegurar germinación en viveros (DEWR, 2007).

Se encuentra a esta especie en trópicos húmedos, donde las temperaturas son parejas a lo largo del año y no hay heladas. Las precipitaciones medias anuales varían de 1500 a 3000 mm con un muy marcado máximo estival. En QLD la especie crece en suelos podzólicos ácidos, friables y de moderada a baja fertilidad, en piedemontes de cerros costeros, y en suelos arenosos o limosos aluviales de las planicies costeras. Prospera en los márgenes de bosques lluviosos o en bosques abiertos, especialmente en áreas que han sido alteradas por fuego (DEWR, 2007).

Debido a su muy rápido crecimiento y a su tolerancia a suelos ácidos y de baja fertilidad, *Acacia mangium* es hoy una importante especie en la forestación en las zonas tropicales bajas y húmedas en Asia. Extensas superficies han sido plantadas en Indonesia y Malasia para un importante desarrollo industrial basado en la producción de pulpa y papel. Además la madera de la especie es adecuada para aserrío, adquiere un buen pulido y es apropiada para torneado. Se la usa en mueblería, en su aspecto es semejante a *Acacia melanoxylon*, y en chapas. También ha sido empleada localmente en construcción de casas. Su denso follaje siempre verde la hace adecuada para abrigo y protección de suelos y sus flores tienen una buena aptitud melífera. Es usada igualmente en plantaciones mixtas con otras especies para mantener o mejorar la fertilidad del suelo.



(World Wide Wattle, 2004)

Acacia mearnsii De Wild. **Black Wattle – Acacia Negra****Subgénero *Phyllodineae***

Su distribución natural corresponde al sureste de Australia, desde cerca de Sydney en NSW hasta Tasmania. Entre los 33 y 43° LS se encuentra a esta especie principalmente desde el nivel del mar hasta 200 nsm, pero ocurre también hasta los 1000 msnm. Está presente así en NSW, ACT, VIC y TAS (DEWR, 2007).



Es una especie de rápido crecimiento, grandes arbustos o pequeños árboles, normalmente 6 a 10 m de altura, en ocasiones hasta 20 m. Las hojas son bipinnadas color verde oscuro. Las flores son amarillo-crema en cabezas globulares. Las vainas son rectas, a menudo más angostas entre las semillas, de 5 a 15 cm de largo y 0,4 a 0,8 cm de ancho, y maduran en 12 a 14 meses. Hay unas 72.000 semillas viables por kilo de semilla y éstas deben ser pretratadas en agua hirviendo por un minuto para mejorar su germinación en viveros.

Gran parte del área de distribución natural corresponde a zonas subhúmedas cálidas. Las áreas costeras son prácticamente libres de heladas, pero a mayores altitudes las heladas son más frecuentes y esta especie puede ser dañada por temperaturas bajo los -5 °C. Las precipitaciones anuales son de 440 a 1600 mm, con un pequeño máximo estival en la parte norte y un máximo invernal bien marcado en la parte sur. Típicamente crece en tierras bajas onduladas, sobre suelos principalmente bien drenados de moderada a baja fertilidad. Se trata de una especie pionera que puede constituir densas formaciones al colonizar áreas despejadas. Ocurre normalmente bajo el dosel de bosques abiertos dominados por eucaliptos. Es una especie que se adapta a variadas condiciones y es fijadora de nitrógeno (DEWR, 2007).

La especie es empleada comercialmente para pulpa y papel y para la obtención de taninos de buena calidad para curtiembre. Existen importantes plantaciones comerciales en Sudáfrica y en menor medida en el este de África, en el sur de Brasil, en India y en China, siendo manejadas en rotaciones de 8 a 10 años. La madera es dura, aunque fácil de trabajar y adquiere un buen pulido, se la usa en postes para casas, carpintería, tableros, maderas para minas y mangos de herramientas.



A. ... (Caden 2004)

Es también una especie útil para control de erosión, protección y mejoramiento de suelos y cortinas cortavientos. Sin embargo, es agresivamente colonizadora y se ha transformado en maleza en algunos lugares de Sudáfrica, invadiendo áreas después de incendios, por lo que su uso y manejo debe considerar esta característica de la especie.



Acacia melanoxylon R. Br. Blackwood - Aromo Australiano**Subgénero *Phyllodineae***

La especie ocurre naturalmente desde el norte de Queensland hasta el sur de Tasmania, entre los 16° y 43° LS y desde el nivel del mar hasta los 1500 msnm, aunque en la parte tropical de esta distribución se la puede encontrar a mayores altitudes. Está presente así en Queensland (QLD), New South Wales (NSW), Australian Capital territory (ACT), Victoria (VIC), Southern Australia (SA) y Tasmania (TAS) (DEWR, 2007).



(DEWR, 2007)

Es una especie de larga vida, usualmente un árbol de 10 a 20 m de altura y 50 cm de diámetro, pero varía desde un pequeño arbusto hasta la mayor de las acacias en Australia, alcanzando 40 m en altura y 1,5 m en diámetro en tierras bajas del NW de Tasmania. Las hojas adultas son filodios rectos, verde pálido, de 8 a 13 cm de largo y 0,7 a 2 cm de ancho, con 3 a 5 venas longitudinales prominentes, en tanto que las hojas juveniles son pinnadas. Las flores son blancas a amarillo-pálido, en grandes cabezas globulares. Las vainas o legumbres son planas, delgadas, 6 a 10 cm de largo y 0,4 a 0,6 cm de ancho, y retorcidas o enrolladas cuando maduran. Presenta unas 64.000 semillas viables por kilo de semilla y necesita pretratamiento en agua hirviendo por un minuto para facilitar la germinación en viveros (DEWR, 2007).

Su ocurrencia principal es en zonas templadas húmedas, con veranos templados a cálidos. Es una especie tolerante al frío, pero puede sufrir daños con temperaturas por bajo los -7 °C. Las precipitaciones medias son de 750 a 1500 mm anuales, con máximo invernal en el sur de la distribución natural de la especie y estival en el norte de ésta. Prospera bien en una variedad de condiciones de topografía y suelos, incluyendo áreas bajas pantanosas, laderas de montañas y zonas altas expuestas y alcanza los mejores crecimientos en suelos podzólicos y aluviales, ligeramente ácidos y relativamente fértiles, aunque tolera una amplia variedad de suelos. Ocurre principalmente bajo el dosel de bosques altos, abiertos de eucaliptos en áreas templadas-frías y lluviosas (DEWR, 2007). En el NW de Tasmania crece como especie alta dominante en áreas pantanosas estacionales (World Wide Wattle, 2004a).

La madera es muy cotizada para mueblería, instrumentos musicales de cuerdas y chapas para revestimiento de tableros de partículas. Es moderadamente dura y su densidad es relativamente baja, pero adquiere un buen pulido. Se la usa también como combustible, aunque por su densidad no es de la mejor calidad para este fin. La especie ha sido introducida en muchos lugares del mundo para producción de madera y leña, para su uso como ornamental e incluso para forraje (hojas jóvenes). Se la cultiva en el sur de Australia y en países como Zimbabwe, Sri Lanka, India, Sudáfrica y Nueva Zelanda, entre otros.



(World Wide Wattle, 2004)

Su manejo debe ser cuidadoso, debido a que su rápida propagación por semillas y brotes de raíces la puede tornar invasora, como ya ha ocurrido en Sudáfrica (DEWR, 2007; World Wide Wattle, 2004a).

Acacia nilotica (L.) Willd. Babul – Acacia de Egipto**Sugénero *Acacia***

Especie ampliamente distribuida naturalmente en África tropical y subtropical, desde Egipto hasta Mauritania hasta el sur de Sudáfrica, en el SE de la Península Arábiga y el SO de India (Brenan, 1983).



Árbol generalmente hasta 15 m de altura, aunque puede variar desde arbusto de 1 a 2 m hasta árbol de 25 m de altura (El Amin, 1973. cit. por Brenan, 1983). La copa es variable, en África aplanada o redondeada y en Asia semiesférica a estrecha y erecta. Espinas en pares, de 1 a 8 cm de largo, rectas. Hojas bipinnadas. Flores amarillo doradas en cabeza globulares de 6 a 15 mm de diámetro. Vainas muy variables, indehiscentes, pardo oscuras a grises, rectas o curvas, aplanadas y espesas, 6 a 10 semillas por vaina. Debido a la variabilidad de la forma de la copa, forma de las vainas y otras características, se menciona la existencia de nueve subespecies, con distribución geográfica más o menos definida (Brenan, 1983). Se la puede encontrar desde el nivel del mar hasta más de 2000 msnm, soporta temperaturas extremas de -1 a 50 °C y es sensible al frío en estado juvenil. Las precipitaciones medias anuales en su extensa área de distribución natural varían entre 250 y 1500 mm. Suele ser caduca, en áreas secas, y perenne en el caso de las subespecies que ocurren naturalmente asociadas a cursos de agua (FACT Net, 1994).

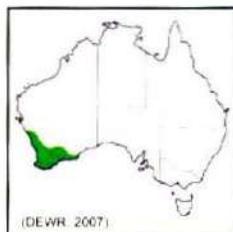
La madera es dura y rojiza, se la emplea en postes de cercos y combustible. El tronco exuda gomas que son comestibles y se las usa también con fines medicinales y como goma de pegar (Behr, 2005). La especie es fijadora de nitrógeno. Sus hojas son valiosas como forraje para animales silvestres y domésticos. Las vainas en estado verde pueden ser tóxicas para los animales.

Desde los tiempos de los faraones han sido extraídos grandes árboles de esta especie en zonas ribereñas del Nilo, entre otros usos para combustible de alto poder calorífico (4950 kcal/kg), minería y durmientes por su madera fuerte y durable. En Sudán se maneja bosques en rotaciones de 20 a 30 años para durmientes. En India, en rotaciones de 10 a 15 años en zonas ribereñas se obtiene combustible y madera. La especie es valiosa para producción de taninos, forraje y en sistemas agroforestales. En India, más de 50.000 ha de suelos salinos han sido rehabilitados mediante siembra directa con esta especie (FACT Net, 1994).



Acacia saligna (Labill.) H. L. Wendl. Western Australia Golden Wattle – Acacia Azul**Subgénero Phyllodineae**

Especie común en suelos pobres, arenosos en el SO de Australia, entre los 27 y 35° LS y en altitudes desde el nivel del mar hasta 300 msnm. Su ocurrencia corresponde a Western Australia (WA) (DEWR, 2007).



Arbusto o árbol pequeño de rápido crecimiento, fijador de nitrógeno, alcanza alturas de hasta 9 m. Las hojas son filodios de color gris-azul en plantas jóvenes y verde grisáceo después, de 8 a 25 cm de largo y 0,4 a 2 cm de ancho y se estrechan gradualmente hacia la base y el ápice. Las flores son amarillo-naranja en cabezas globulares. Las vainas tienen 5 a 14 cm de largo y 0,5 a 0,6 cm de ancho, rectas a levemente curvas, levemente más angostas entre las semillas y maduran rápidamente, en 4 a 6 meses. Hay unas 46.000 semillas por kilo de semilla y es conveniente pretratarlas en agua hirviendo por un minuto para mejorar su germinación en viveros (DEWR, 2007).

Las principales áreas de ocurrencia natural de esta especie corresponden a clima cálido subhúmedo, pero también aparece en zonas semiáridas. Las precipitaciones oscilan entre 500 y 1000 mm y en la zona semiárida pueden ser tan bajas como 300 mm anuales. Prospera principalmente en áreas de topografía ondulada y en planicies arenosas costeras y ocurre en suelos variados, especialmente arenas pobres y calcáreas, pero también en arcillas y en diversos suelos podzólicos. Frecuentemente se encuentra a esta especie en zonas dominadas por eucaliptos, como *Eucalyptus gomphocephala* y otros, y en zonas bajas con formaciones de *mallee* (eucaliptos arbustivos, multifuste) (DEWR, 2007).

Características de esta especie, como el rápido crecimiento, la capacidad de retoñar desde los tocones y su adaptabilidad a una variedad de suelos han conducido a que sea ampliamente utilizada en plantaciones en el norte de África, en el medio este y en Sudamérica, para forraje, combustible, estabilización de dunas y cortinas cortavientos. En el norte de África se ha plantado más de 200.000 ha como alimento complementario para ganado ovino y caprino. En Australia es usada comúnmente como especie ornamental y también en los campos para forraje y para reducir salinidad en los suelos bajando las napas freáticas. Antiguamente se la plantaba para producir taninos con su corteza, que tiene alrededor de un 30 % de este producto.



Sin embargo, se requiere un manejo cuidadoso por sus características invasoras, en Sudáfrica la especie se ha transformado en un serio problema, invadiendo y desplazando vegetación nativa y algo semejante ha ocurrido en el sur y este de Australia.

Acacia senegal* (L.) Wild.*Goma Arábica – Goma de Senegal****Sugénero *Aculeiferum***

Especie de amplia distribución natural en África tropical y subtropical y el SO de Asia. Desde Senegal hacia el E hasta Somalia. En el sur, Sudáfrica y Namibia hasta Mozambique. En Asia, principalmente SO de India y SE de Pakistán (Brenan, 1983).



Arbusto o árbol de sabana, hasta 20 m de altura y más de 1,3 m de diámetro, espinoso, hojas bipinnadas, flores blancas a amarillas en espigas de de 5 a 10 cm de largo. Vainas rectas a levemente curvadas, de 7 a 18 cm de largo, angostas, de color café claro o gris, indehiscentes, 5 a 15 semillas por vaina. Tronco normalmente único, copa densa y a menudo plana en el tope (Duke, 1983).

Prospera en lomas secas, rocosas y en sabanas bajas secas, bajo precipitaciones medias anuales de 250 a 360 mm. Especie resistente que tolera condiciones severas, parece verse favorecida por bajas precipitaciones, pero con ausencia de heladas. Las condiciones de climas en sus áreas de ocurrencia natural varían de templado cálido a tropical y tropical seco.

Es una especie fijadora de nitrógeno, empleada en recuperación y rehabilitación de suelos, contención de dunas y control de erosión eólica. Su madera es muy buen combustible. No obstante, el producto que ha hecho desde la antigüedad mundialmente conocida a la especie es la goma arábica, exudación del tronco que tiene múltiples aplicaciones alimenticias, químicas y medicinales.

La especie presenta gran variabilidad a través de sus áreas de distribución natural y son reconocidas cuatro subespecies. Se la cultiva ampliamente en Sudán y en Pakistán, se la puede propagar vegetativamente y rebrota bien desde tocones.



Acacia tortilis (Forsk.) Hayne **Umbrella Thorn****Sugénero *Aculeiferum***

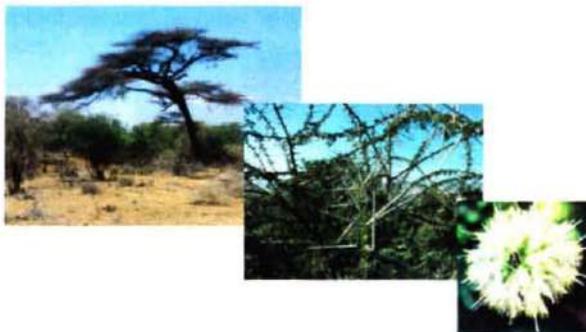
Tiene una amplia y extensa distribución natural, ocupando la Península Arábiga y todo el norte de África y extendiéndose por el este de África hacia el sur hasta Sudáfrica.



Especie de gran variabilidad a través de su extensa área de ocurrencia natural, son reconocidas cuatro subespecies. Se presenta como arbustos de no más de 1,5 a 2 m de altura hasta árboles de hasta 21 m de altura. Es característica su copa generalmente aplanada y expandida, que le da el nombre Acacia Paraguas. Presenta espinas en pares, algunas cortas y en gancho, de hasta 5 mm de largo, y otras rectas, largas y delgadas, de color blanquecino y de hasta 10 cm de largo. Hojas bipinnadas, flores blancas a blanco amarillento, en cabezas globulares de 0,5 a 1 cm de diámetro. Vainas indehiscentes o lentamente dehiscentes muy variables en forma y color, normalmente espiraladas y raramente rectas. Roy et al. (1973) (cit. por Duke 1983) señala que las semillas deben ser pretratadas con ácido sulfúrico concentrado por 30 min para obtener una buena germinación.

Se la reporta en general como tolerante a suelos alcalinos, arenosos, pedregosos, a sequía y a altas temperaturas (50 °C). Plantas de menos de dos años son susceptibles de daño por heladas. Las subespecies muestran diferentes tolerancias y susceptibilidades respecto del sitio. Prospera bajo precipitaciones medias anuales de 100 a 1000 mm y temperaturas medias anuales de 18 a 28 °C, es extremadamente tolerante a sequía y puede sobrevivir con precipitaciones medias por debajo de los 100 mm y con largos y erráticos períodos secos. Prefiere suelos alcalinos y puede crecer en suelos delgados de menos de 25 cm de profundidad, desarrollando largas raíces laterales que pueden ser un problema para cultivos o construcciones aledañas. En suelos delgados tiene un hábito arbustivo.

Es una especie fijadora de nitrógeno y es empleada para producir leña y carbón de muy buena calidad, forraje y material para cercos en India y en diferentes países de África.



REFERENCIAS

Albert, F., 1908.

Algunas Observaciones sobre las Especies Cultivadas en la Sección de Aguas i Bosques. En: *Anales Agronómicos* 3(4).

Albert, F., 1909. Los Siete Árboles Forestales más Recomendables para el País. Santiago, Chile. Imprenta Cervantes.

Barros, S., 1997. Ensayos de Introducción de Especies en la Región Metropolitana, Chile. Corporación Nacional Forestal (CONAF), Región Metropolitana (Informe Interno)

Behr, Karin, 2005. African Tree List N° 179. *Pretoria National Botanical Garden*. South African National Biodiversity Institute, South Africa. In: <http://www.plantzafrica.com/plantab/acacianilot.htm>

Botanical Society of South Africa, 2007. Africa To Lose All Its Acacias. In: <http://www.krugerpark.co.za/krugerpark-times-3-1-acacias-21849.html>

Brenan, J. P. M., 1983. Manual sobre la Taxonomía de Algunas Especies de Acacia. En: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Q2934S/Q2934SO5.htm>

Centre for Plant Biodiversity Research CPBR, 2006. The Name Acacia Retained for Australian Species. On line in <http://www.anbg.gov.au/cpbr/taxonomy/acacia-conserved-2004.html>. Consulta julio 2007.

Department of the Environment and Water Resources DEWR, 2007. Australian Government. Australian Biological Resources Study. Species Bank. In: <http://www.environment.gov.au/cgi-bin/species-bank>

Duke, James. A., 1983. Handbook of Energy Crops. In: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/ Centre for New Crops and Plant Products. Purdue University. USA.

Enciclopedia de la Flora Chilena, 2007. http://www.florachilena.cl/Niv_tax/Angiospermas/Ordenes/Fabales/Fabaceae/Acacia/Espino.htm

FACT Net, 1994. Forest, Farm and Community Tree Network. USA. NFT Highlights. NFTA 94-07. A Quick Guide to Useful Fixing Trees from Around the World. *Acacia nilotica* Pioneer for Dry Lands.

FAO – FRA, 2000. Global Forest Resources Assessment. Main Report. FAO Forestry Paper 140.

Maslin, Bruce, 2003. Proposed Name Changes in Acacia. Department of Conservation and Land Management, Perth, Western Australia. From the newsletter of the Acacia Study Group, February 2003. Australian Plants Online, Number 29, March 2003. Documento en línea <http://farrer.riv.csu.edu.au/ASGAP/APOL29/ac01-03.html> Consulta julio 2007.

Maslin, B.; Orchard, A. and West, J., 2003. Nomenclatural and Clasification History of Acacia (*Leguminosae: Mimosoideae*) and the Implications of Generic Subdivision. In: <http://worldwidewattle.com>

Maslin, B. and Orchard, A., 2006. Acacia – The Final Decision. On line in <http://worldwidewattle.com> Consulta Julio 2007.



Maslin, B., 2006. Generic and Infrageneric Names in Acacia following Retypification of the Genus. Department of Conservation and Land Management. Western Australia.

Midgley, S. J., 2006. Tropical Acacias: Their Domestication and Contribution to Asia's Wood and Pulp Industries. Paper to the 2nd Latin American IUFRO Congress: The Increasing Importance of the Environmental, Social and Economic Functions. La Serena, Chile 23 – 27 October 2006.

Mulofwa, J., Simute, S. and Tengnäs, B., 1994. Agroforestry: Manual for Extension Workers in Southern Province, Zambia. Swedish International Development Authority (SIDA), Regional Soil Conservation Unit (RCSU), Nairobi, Kenya. Tech. Handbook No. 4. In:

<http://www.afae.org/html/98-204.html>

Orchard, A. and Maslin, M., 2003. Proposal to Conserve the Name Acacia (Leguminosae: Mimosoidea) with a Conserved Type. Taxon 52(2). On line in <http://worldwidewattle.com> Consulta Julio 2007.

Wikipedia, 2007. La Enciclopedia Libre. En: <http://es.wikipedia.org>

WorldWideWattle, 2004. Distribution and Phytogeography of Acacia. In. <http://www.worldwidewattle.com/infogallery/distribution.php#worldwide#worldwide> Consulta julio 2007.

WorldWideWattle, 2004 a. Species Number. Documento en línea <http://www.worldwidewattle.com/infogallery/species/> Página actualizada enero 2006. Consulta julio 2007.

PROCESOS INDUSTRIALES Y APLICACIONES DE ACACIA EN CHILE¹

R. Briones², J.C. Pinilla S³.

RESUMEN

El Instituto Forestal desarrolla una línea de investigación con algunas de las especies más conocidas del género *Acacia*, diferentes trabajos han sido realizados en el área silvícola con buenos resultados y ha sido desarrollada una estrategia para la transferencia y difusión de los resultados con el objeto de promover las plantaciones con estas especies, que representan una buena alternativa para pequeños y medianos propietarios y para suelos degradados, en donde las especies habituales para plantaciones, como pino radiata y eucalipto, ven limitado su potencial de crecimiento. Con el fin de complementar este programa de transferencia, se inició trabajos en los que se abordó también el estudio de procesos industriales y aplicaciones de la madera de estas especies con el objeto de generar y transferir información relevante acerca de los productos factibles de obtener a partir de especies del género *Acacia* que crecen en Chile, de modo de posicionarlas como una alternativa forestal productiva.

Esta investigación ha intentado escalar las opciones productivas del recurso forestal compuesto por las especies *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon* y *Acacia mearnsii*, a través del desarrollo de productos con mayor valor agregado. Para esto se generó la información acerca de las propiedades y aptitudes físico-mecánicas y pulpables de las dos primeras para su uso en la industria del aserrio, tableros, pulpa y papel, y su validación por parte de usuarios, y se identificó las variables que inciden en el porcentaje de taninos obtenibles a partir de la corteza de *A. mearnsii* en Chile.

Palabras claves: *Acacia dealbata*, *A. mearnsii*, *A. melanoxylon*, madera, industria

¹ Trabajo desarrollado en el marco del proyecto FDI-CORFO 02C8FD-13 "Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a Especies de *Acacia* Probadas en Chile"

² Investigador de Proyectos, Instituto Forestal, Casilla 109-C, Concepción, Chile. 56-41-749090; rbriones@infor.cl; www.infor.cl

³ Investigador, Jefe de Proyectos, Instituto Forestal, Casilla 109-C, Concepción, Chile. 56-41-749090; jpinilla@infor.cl; www.infor.cl

INDUSTRIAL PROCESSES AND APPLICATIONS OF ACACIA IN CHILE

SUMMARY

Research carried out by The Chilean Forest Institute for some *Acacia* species included the study of industrial processes and applications for the wood of these species that are grown in Chile. This project is part of the strategy for the development and promotion of the species, with the objective of generating and transferring information about the feasible products from species of the genus *Acacia* that grow in Chile, in a way of positioning it as a forest productive alternative.

This research project tried to climb the productive options of the forest resource composed by the species *Acacia mearnsii*, *Acacia dealbata* and *Acacia melanoxylon*, and to develop products with higher added value. Hence information was generated about physical-mechanical and pulp wood characteristics and its use in the lumber industry, boards, pulp and paper, and its validation on the part of users, and the identification of the variables that impact in the percentage of attainable tannins starting from the bark of *A. mearnsii* in Chile.

Keywords: *Acacia dealbata*, *A. mearnsii*, *A. melanoxylon*, wood, industry

INTRODUCCIÓN

Algunas especies de acacias australianas han demostrado adecuados resultados para su establecimiento en Chile en diferentes estudios realizados por el Instituto Forestal (INFOR), tanto desde el punto de vista de la diversificación de las actuales plantaciones con especies exóticas como por su alto grado de adaptabilidad a variadas condiciones de suelo y clima. A esto se suma la multiplicidad de productos a obtener a través de un manejo forestal adecuado. En los resultados obtenidos han destacado *Acacia dealbata*, *Acacia mearnsii* y *Acacia melanoxylon*, con una adecuada adaptación y buenas tasas de crecimiento.

Es así que las especies del género *Acacia* constituyen en el país promisorias opciones forestales, sea como alternativas productivas en sectores marginales para las especies forestales tradicionales (pino radiata y eucalipto), o para ofrecer una mayor diversidad productiva al sector. El desarrollo de estas opciones tecnológicas permita tomar decisiones en materia de políticas que tiendan a incrementar y diversificar el suministro de fibra corta y madera, hasta ahora proporcionada por eucaliptos o especies nativas, y con ello diversificar la superficie de plantaciones forestales pulpables y madereras, fomentando a su vez el mejoramiento tecnológico para utilizar más adecuadamente las especies y los volúmenes generados.

También es posible con estas especies efectuar plantaciones combinadas con algunos eucaliptos para la producción de fibra corta, tal como se realiza en Australia y Sudáfrica. En Australia, en los bosques naturales de *Eucalyptus*, las especies del género *Acacia* constituyen el dosel inferior y conforman un porcentaje de la producción de pulpa total debido a su compatibilidad y aptitudes celulósicas (Pinilla, 2000), incrementando incluso el rendimiento de los eucaliptos debido a su capacidad de fijar nitrógeno en el suelo.

Un resumen de los posibles usos de las plantaciones de acacias o de su madera es presentado en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
POSIBLES USOS DE LAS ESPECIES DE ACACIA

ESPECIE	USOS
<i>Acacia dealbata</i>	<i>Pulpa, Madera Aserrada, Leña, Recuperación de Suelo, Apicultura</i>
<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Madera Aserrada, Leña, Chapas, Parquet</i>
<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Taninos, Recuperación de Suelos, Pulpa</i>

La investigación realizada hasta ahora confirma que desde el punto de vista de crecimiento, aptitudes tecnológicas y potencialidades de uso, estas especies se constituyen en una interesante alternativa de producción, lo cual permite orientar a eventuales usuarios o clientes acerca del cultivo y manejo de este recurso y su potencial productivo. Esto puede resumirse en:

Las especies de *Acacia* de interés crecen en el país de manera adecuada en lugares marginales para otras especies

Presentan una buena aptitud pulpable, demostrable con el creciente uso de la madera de *Acacia* en mezcla con otras especies.

Elevado porcentaje de extraíbles, especialmente taninos que por su condición de naturales están recuperando el mercado que había sido ocupado por los curtientes sintéticos.

Altos precios que alcanzan algunos de sus productos en el mercado internacional (madera aserrada, chapas).

Junto a esta investigación, se hace necesario un programa de fomento a la utilización de estas especies, lo cual se logra a través de las actividades de transferencia, poniendo a disposición de los interesados con distintos niveles de desarrollo información técnica relevante, permitiendo con esto la masificación y difusión de las especies, la asignación más racional de recursos y la toma de decisiones a distinto nivel en base a información con cierto grado de certidumbre.

En este sentido, el presente texto entrega algunos antecedentes industriales de importancia para las especies en estudio, recopilados desde la investigación realizada y nuevos estudios desarrollados por INFOR, entregando información acerca de las propiedades y aptitudes físico mecánicas y pulpables de las especies *A. dealbata* y *A. melanoxylon*, incluyendo experiencias de secado, trabajabilidad, encolabilidad, propiedades físicas y mecánicas, caracterización del papel y contenido de taninos en *Acacia mearnsii* para su uso en la industria nacional.

ANTECEDENTES SOBRE EL USO DE ESTAS ESPECIES

- *Acacia melanoxylon*

Acacia melanoxylon crece principalmente en suelos de mediana a alta fertilidad, profundos, con buen drenaje y pH neutro a ácido (Boland *et al.*, 1984), siendo una especie valiosa para mueblería. La madera tiene gran resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión, reúne buenas condiciones para su empleo en carpintería, chapas, pisos, revestimientos, tornería (Torrealba, 1987). La especie posee una excelente calidad para la producción de madera aserrada (Pinilla, 2000).

Según Nicholas y Brown (2002), por más de 100 años *A. melanoxylon* ha sido aceptado internacionalmente como una de las grandes maderas decorativas del mundo. Puede ser clasificada dentro de un grupo de elite de especies, que incluyen el nogal, la caoba y la teca. Posee calidades poco probables de ser igualadas por cualquier otra especie exótica que pueda crecer en Nueva Zelanda, siendo en este país una especie extremadamente popular entre los ebanistas.

Es ideal para fabricar muebles y gabinetes, producir chapas, piezas torneadas y perillas. La madera es de un peso mediano y fácil de trabajar, tiene textura uniforme, es generalmente recta, a veces tiene grano ondulado. La madera del corazón comúnmente es

de color oro-marrón, a menudo conteniendo vetas más oscuras o rayas rojizas; la albura es pálida. Sin embargo, puede haber variación considerable en los colores, extendiéndose desde amarillo a rojizo y hasta casi negro, lo que causa algunos problemas a los fabricantes de los muebles (Nicholas y Brown, 2002).

La variación en color se ha atribuido según Nicholas y Brown (2002) a factores genéticos, en donde las variaciones ocurren dentro de lotes de semillas, y en el mismo sitio. En Nueva Zelanda, un estudio de escala reducida no demostró ninguna diferencia significativa entre dos lotes de semillas de Tasmania y dos de Sudáfrica. Otro factor importante sería el sitio, el cual según evidencias empíricas, señalaría que tiene una fuerte influencia sobre el color. Un estudio sudafricano señala que el mejor color se presenta en sitios de suelos orgánicos profundos y con período de receso vegetativo definido.

En *A. melanoxylon*, la variación del color puede causar dificultades en la madera. Hasta ahora, esto no ha influenciado los precios en los mercados australiano o de Nueva Zelanda, pero sí ha afectado las ventas en Sudáfrica, donde la madera más oscura se prefiere y cuenta con un mayor precio. En Australia se reconoce varios patrones atractivos del grano, que son preferidos por los artesanos y en la producción de chapas.

En Chile no existe información sobre el mercado de trozas para la producción de chapas ni de madera aserrada. En las eventuales exportaciones que se ha realizado con *A. melanoxylon*, los precios de venta de la madera aserrada han sido altos, oscilando entre US \$ 130 y US \$ 1.200 por metro cúbico. En Australia, Sudáfrica y Nueva Zelanda se transa con precios de entre US \$147 y US \$ 1.600 FOB, dependiendo del tipo de producto y su calidad (INFOR, 2002).

- *Acacia mearnsii*

La madera de *A. mearnsii* es utilizada para la construcción, pulpa, postes de minas, mangos de herramientas, uniones, pisos y tableros. La densidad básica de la madera de *A. mearnsii* es de 598 a 630 kg/m³ (Kannegiesser, 1990; Pinilla, 2000). Uno de los aspectos más importantes es la producción de taninos a partir de la corteza utilizados principalmente en la industria del cuero, siendo una de las principales fuentes de taninos de buena calidad en el mundo. Se considera que la corteza de esta acacia es una de las mejores en términos de cantidad rendida por árbol y de calidad respecto del contenido y color de los taninos (Turnbull, 1986; Grosse et al, 1990). El poderoso extracto de la corteza se utiliza además en la preparación de adhesivos para la industria de chapas, tableros de partículas y madera laminada.

La madera también es utilizada como combustible para uso doméstico, para la pequeña industria y para la producción de carbón. Los árboles además, se plantan para el control de erosión, mejoramiento del suelo, en cortinas como cortafuegos, como árboles de sombra en plantaciones de té y como ornamentales. Debido a su rápido crecimiento, a su adaptabilidad a una gran cantidad de sitios y a su habilidad de colonizar tierras que han perdido todo o casi todo el suelo superficial, ha sido efectiva para controlar la erosión y para mejorar la fertilidad (National Academy of Science, 1980).



En el Estado de Río Grande do Sul, Brasil, actualmente existen más de 100 mil hectáreas plantadas con *Acacia mearnsii*, las cuales están establecidas en pequeñas propiedades, siendo combinada con cultivos agrícolas en los primeros años y con ganado, a partir del tercer año de la plantación (Pinilla *et al.*, 2000). Como antecedente se puede mencionar que en Brasil una plantación de 8 años produce aproximadamente 200 m³/ha de madera y 16 toneladas/ha de corteza (Higa *et al.*, 1998). En Sudáfrica, el mercado de la corteza de acacia ha cambiado con el tiempo, desde requerimientos industriales del orden de 330.000 ha de plantaciones para satisfacer la demanda de corteza durante la década de los sesenta, hasta aproximadamente 130.000 ha durante la década de los noventa. Recientemente, restricciones de orden ambiental han promovido un aumento en el uso de taninos vegetales en desmedro de los sintéticos, lo que ha motivado un aumento en el número de hectáreas plantadas con la especie (INFOR, 2000).

- *Acacia dealbata*

Acacia dealbata, como las otras acacias es una especie fijadora de nitrógeno. Se recomienda para contener dunas y reforestar terrenos muy pobres, erosionados y deforestados. A pesar de ser una especie agresiva debido a su habilidad para retoñar, su valor para estabilizar laderas erosionadas en otros países ha sido incomparable con otras especies (Grosse *et al.*, 1990).

La madera es considerada una de las mejores para pulpa en la región templada de Australia (densidad básica de 553 kg/m³) (Batchelor *et al.*, 1970). En general, la madera se utiliza en carpintería y fabricación de cajones y muebles rústicos. También se utiliza como un tipo inferior de combustible y en la industria melífera (Pinilla, 2000).

Experiencias de pulpaje realizadas en CSIRO Australia con acacias australianas han corroborado su alta aptitud pulpable. *Acacia dealbata* (Silver Wattle) es reconocida como una especie de alta calidad pulpable por el North Forest Product (Pinilla, 2000), la que se expresa en altos rendimientos de pulpa kraft de fibra corta dado su bajo contenido de lignina. Además, los procesos de pulpaje requieren de menor cantidad de productos químicos que otras especies y el papel que se obtiene posee buenas propiedades de resistencia. En este sentido, las acacias tienen una densidad básica mayor en relación con otras latifoliadas de rápido crecimiento. Considerando que el pulpaje y las propiedades del papel obtenido son satisfactorios, la mayor densidad básica es una ventaja por la calidad de la pulpa, debido al mayor peso de astillas que puede ser acomodado en el digestor, lo que aumenta la productividad de este equipo.

Los productos que pueden ser obtenidos de los bosques de esta acacia están restringidos, básicamente a madera pulpable y leña, no obstante el mercado de ellos es interesante. En general las empresas productoras de astillas en Chile compran madera para pulpa con el objetivo de exportarla a Japón, ya que la densidad de la madera y las características de la fibra la asemejan con el producto proveniente de madera nativa; las astillas de acacias constituyen un porcentaje de la mezcla que se usa para producir pulpa de fibra corta.

Recientemente, en Australia y Nueva Zelanda, esta especie está siendo utilizada en el diseño y confección de muebles debido al atractivo de su madera y sus excelentes propiedades de trabajabilidad.

Es una madera fácil de partir y medianamente fuerte, con colores que varían entre café claro a un rosa tenue con una distintiva banda color blanco a crema. Sus ligeros tonos y distintivos anillos de crecimiento, que puede crear un patrón listado, han contribuido a incrementar su demanda para su uso en muebles. Cuando su madera es lijada y trabajada se puede obtener una superficie muy lisa y de fácil pulido lo que la hace apetecida para la fabricación de muebles.

MATERIAL Y MÉTODO

Material

El muestreo y preparación del material experimental para los recientes estudios industriales consideró la selección y marcación de árboles de las tres especies antes mencionadas, para los estudios de propiedades físicas y mecánicas; trabajabilidad y encolabilidad; chapas foliadas; pulpa y papel; tableros de partículas; taninos de la corteza de *A. mearnsii*; y secado industrial.

Los árboles seleccionados para los estudios provienen de un ensayo de especies y procedencias de *Acacia* instalado el año 1992 (Pinilla *et al.*, 2002), que se ubica en la comuna de Cañete, VIII Región (38° 18' S, 73° 21' W). Para los estudios de trabajabilidad, encolabilidad y chapas foliadas, se seleccionó además, árboles de *A. melanoxylon* desde un predio perteneciente a una empresa forestal en la misma área, debido que para la adecuada ejecución de estas actividades se necesitan árboles con un DAP superior.

Los árboles seleccionados de *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii* obtenidos desde Antiquina presentaban un DAP medio de 27; 20 y 25 cm, respectivamente, a una edad de 12 años. La selección y marcación de árboles se realizó de acuerdo a parámetros de sanidad y calidad de las trozas, utilizando 46; 56 y 3 árboles de *A. dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*, respectivamente. La cantidad de árboles seleccionados para cada estudio es indicada en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
ARBOLES SELECCIONADOS PARA CADA ESTUDIO

Estudio	N° árboles		
	<i>A dealbata</i>	<i>A melanoxylon</i>	<i>A mearnsii</i>
Propiedades físicas y mecánicas	10	10	
Trabajabilidad y Encolabilidad	6		
Chapas	4		
Pulpa y papel	3	3	
Tableros de partículas	1	1	
Taninos			3
Secado laboratorio	13	26	
Secado industrial	9	16	

Para los estudios de Trabajabilidad, Encolabilidad y Chapas foliadas, se seleccionó además, árboles de *A. melanoxylon* desde un predio perteneciente a una empresa forestal en la misma área, debido que para la adecuada ejecución de estas actividades se necesitan árboles con un DAP superior.

Método

Las principales actividades de laboratorio y de ensayos industriales fueron realizadas en distintos centros tecnológicos y empresas, los que correspondieron a:

INFOR- Laboratorio De Productos Forestales (U Concepción)	Propiedades físicas y mecánicas
Universidad del Bío Bío	Trabajabilidad y Encolabilidad
Colcura S.A.	Chapas
Facultad de Ingeniería Química (U de Concepción)	Pulpa y papel
MASISA S.A.	Tableros de partículas
Facultad de Ingeniería Química (U de Concepción)	Taninos
Universidad del Bío Bío	Secado laboratorio
Stuck e Hijos Ltda.	Secado industrial

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta los principales resultados de los estudios realizados con el objeto de entregar información base para estas especies en materia de propiedades físicas y mecánicas asociadas y de sus aptitudes de uso para diferentes productos.

Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera

En los Cuadros N° 3 a 5 es entregada la información sobre las principales propiedades físicas y mecánicas de la madera para las tres especies en estudio.

Cuadro N° 3
PROPIEDADES MECÁNICAS DE *Acacia mearnsii* CRECIDA EN CHILE

Ensayo	Parámetro	Condición seca	Condición verde
Flexión (MPa)	MOR	106,0	60,9
	MOE	13.161,2	10.180,2
Compresión (MPa)	R _c	56,6	26,3
	R _{ca}	15,6	8,8
Tracción (MPa)	R _t	4,9	4,5
	R _{ta}	7,4	7,1
Dureza (MPa)	Q	80,6	37,43
	Q _a	62,2	42,8
Cizalle (MPa)	R _c	12,9	7,6
	R _c	16,8	9,8
Clivaje (KN/m)	R _g	101,0	77,9
	R _{ga}	74,4	61,1
Tenacidad (Nm)	T _c	45,1	34,5
	T _c	48,2	32,5
Extracción clavo (N)	K _c	778,2	547,9
	K _c	1.298,3	1.020,0
Gravedad específica	(Kg/m ³)	630,11	549,12

(1) Base peso seco y volumen a 12% CH

(2) Base peso seco y volumen verde

Cuadro N°4
PROPIEDADES MECÁNICAS DE *Acacia dealbata* CRECIDA EN CHILE

Ensayo	Parámetro	Condición seca	Condición verde
Flexión (MPa)	MOR	92,9	62,1
	MOE	11.959,3	10.240,8
Compresión (MPa)	R _c	44,8	28,1
	R _{cs}	9,4	6,5
Tracción (MPa)	R _t	3,8	3,1
	R _{ts}	4,3	4,3
Dureza (MPa)	Q	53,8	41,9
	Q _s	34,85	33,5
Cizalle (MPa)	R _v	9,7	7,5
	R _{vt}	11,4	8,4
Clivaje (kN/m)	R _{ca}	6,1	6,2
	R _{cs}	5,5	5,4
Tenacidad (Nm)	T ₁	28,7	24,3
	T ₂	33,0	27,0
Extracción clavo (N)	K	6,8	3,7
	K _s	10,0	6,4
Gravedad específica	(kg/m ³)	495 (1)	494 (2)

(1) Base peso seco y volumen a 12% CH
 (2) Base peso seco y volumen verde

Cuadro N° 5
PROPIEDADES MECÁNICAS DE *Acacia melanoxylon* CRECIDA EN CHILE

Ensayo	Parámetro	Condición seca	Condición verde
Flexión (MPa)	MOR	82,8	50,7
	MOE	11.218,5	8.020,3
Compresión (MPa)	R _c	37,8	21,2
	R _{cs}	9,8	6,0
Tracción (MPa)	R _t	3,3	3,1
	R _{ts}	5,6	4,9
Dureza (MPa)	Q	62,9	36,7
	Q _s	41,3	31,8
Cizalle (MPa)	R _v	11,3	6,8
	R _{vt}	14,5	8,4
Clivaje (kN/m)	R _{ca}	7,8	6,1
	R _{cs}	6,0	4,5
Tenacidad (Nm)	T ₁	28,0	34,7
	T ₂	26,5	32,7
Extracción clavo (N)	K	5,7	4,2
	K _s	6,1	6,3
Gravedad específica	(kg/m ³)	500 (1)	461 (2)

(1) Base peso seco y volumen a 12% CH
 (2) Base peso seco y volumen verde

Se ratifica que a menor contenido de humedad en la madera, independiente de la especie, mayores son sus propiedades mecánicas. Los valores del Modulo de Elasticidad para estas especies obtenidos del ensayo de flexión se encuentran dentro del rango del *Pinus radiata*, especie utilizada ampliamente en la construcción en Chile. Para la especie *A. melanoxylon*, destacan los valores obtenidos en compresión paralela, siendo adecuada su utilización en postes o pilares.

Las propiedades mecánicas en general presentan diferencias entre individuos, lo cual es atribuible a variaciones en la densidad. Estas diferencias entre individuos son significativas

sólo en *A melanoxylon*, pero igualmente abren una posibilidad para el mejoramiento genético en función de productos.

En relación con la altura, la tendencia genérica es a mantener los niveles de resistencia independiente de la altura de extracción de las probetas, presentándose algunas diferencias sin significación estadística. Respecto de la posición en el diámetro ocurre algo similar.

La resistencia mecánica de las especies es comparable con otras especies que se utilizan comercialmente, como el pino en flexión, por lo que podría ser utilizado en vigas en el área de la construcción. En el caso de la compresión paralela, los valores son comparables con los de raulí y podrían ser utilizadas estas especies en postes, pilares y vigas.

Trabajabilidad y Encolabilidad

En este caso se estudió *A melanoxylon* y *A dealbata*, ambas especies alcanzan un comportamiento aceptable frente a diversos procesos de trabajabilidad, sin embargo, la madera de *A. dealbata* arroja un mejor comportamiento que la madera de *A. melanoxylon*. Ambas especies presentan un comportamiento débil en taladrado. La mejor condición en cepillado para ambas especies se obtuvo con un ángulo de ataque de 20° y bajo condiciones de procesamiento que alcanzan 20 marcas por pulgada. Respecto al tipo de corte, en términos generales para ambas especies las piezas tangenciales alcanzan una mejor calidad.

Secado

Se estudió *Acacia melanoxylon* y *Acacia dealbata*. La madera de estas especies, en corte tangencial, radial o mixto, se puede secar adecuadamente bajo un mismo programa de secado. En 25 mm de espesor se recomienda un programa de secado constante 75/50 (°C/°C). En 50 mm se propone un programa de secado constante 65/50 (°C/°C). La duración del secado desde aproximadamente el punto de saturación de las fibras hasta 10 % de humedad final es de 2 a 3 días en madera de 25 y 50 mm de espesor, respectivamente. La anisotropía de la contracción transversal es reducida y no se presentan grietas y colapso. Los alabeos son de baja intensidad. El comportamiento de ambas Acacias frente al secado convencional es favorecido por un presecado inicial de la madera bajo cobertizo.

Pulpa y Papel

La densidad de la madera de Acacia es inferior a la madera de eucalipto. El valor del peso unitario de la madera de *A. dealbata* está en el rango bajo para especies latifoliadas (4,97 g/100m). Los resultados frente a la cocción kraft de la madera de *A. dealbata* son inferiores comparados con las respuestas de la madera de eucalipto. Para un mismo nivel de índice kappa, se necesitan 2,8 % más de álcali efectivo y esto asociado a un 5,8 % menos de rendimiento total. Las propiedades físico mecánicas de las pulpas crudas, en cuanto a índice de tensión e índice de rasgado, presentan valores altos. El rasgado de la pulpa de acacia es inferior al de la pulpa de eucalipto. La pulpa de acacia responde bien al proceso de blanqueo en estudio.

Es viable la producción de celulosa de buenas características con una mezcla de maderas de eucalipto y acacia, con un porcentaje hasta alrededor de 10% de este último.

En el estudio fue analizada también la aptitud pulpable de *Acacia mearnsii*, incluyendo determinaciones complementarias de densidad y contenido de extraíbles, y el contenido de taninos de la corteza. El examen de las propiedades físicas y mecánicas de la pulpa blanca, en comparación con pulpas blancas de fibra corta, calidad estándar, indican un buen comportamiento, acorde con las características de las fibras de una pulpa de latifoliadas. La densidad de la madera de *A. mearnsii* es comparable con la madera de *Eucalyptus globulus*, el rendimiento en pulpa kraft es alto y comparable con el obtenido con eucalipto y el consumo de madera de *A. mearnsii* para la producción de pulpa blanca es de 4 m³ por tonelada de pulpa seca. *Acacia mearnsii* presenta viabilidad técnica para la producción de pulpa kraft blanca.

Curtientes Vegetales

La mejor época para obtener taninos a partir de la corteza de *A mearnsii* es a fines de la temporada de verano, presentando un porcentaje mayor de taninos en relación a la corteza seca (29,4% base corteza seca), presentando el resto del año valores que variaron entre los 17 y 22% (base materia seca). Los valores encontrados son similares a los reportados en Brasil y en otros países, donde se señala que es posible obtener entre 26 y 41% de taninos, excepcionalmente buenos, dependiendo los rendimientos de factores ambientales (Pinilla, 2000).

Tableros

Con las especies *A. melanoxylon* y *A. dealbata* es técnicamente factible la fabricación de tableros de partículas. Cabe mencionar que estas especies en mezcla con pino radiata presentan adecuadas propiedades físicas y mecánicas para este fin. El aumento de la cantidad de madera de *A. melanoxylon* en la proporción que forma los tableros produce un aumento en los valores del módulo de elasticidad en flexión. Situación contraria ocurre con la especie *A. dealbata*. La resistencia a la tracción perpendicular aumenta a medida que se disminuye la cantidad de madera de acacia, independiente de la especie. El incremento de la cantidad de madera de acacia en la proporción que forma los tableros disminuye la absorción de agua y el hinchamiento.

Los tableros de partículas fabricados con madera de *A. dealbata* y *A. melanoxylon* presentan adecuadas propiedades físicas y mecánicas, salvo en el caso del hinchamiento y absorción, por lo que se sugiere usar hidrófobos. El color de los tableros que incorporan madera de acacia, independiente de la especie, es más oscuro que los tableros fabricados con madera de *Pinus radiata*.



Chapas

La madera de *A. dealbata* presenta un buen comportamiento en el proceso de foliado y mejor aptitud de manejo que la chapa de *E. globulus*. Bajo las condiciones procesadas, la chapa de *A. dealbata* no tiene tendencia a la ondulación y es bastante flexible, lo cual puede ser mejorado con un manejo forestal basado en podas tempranas y raleos.

En el caso de *Acacia melanoxylon*, defectos en las trozas afectaron el rendimiento y calidad de la chapa; grietas, ganchos, brotes, médula descentrada y gran curvabilidad. Estos defectos deben ser eliminados mediante un adecuado manejo forestal. La madera no presentó sobre macerado y registró un buen comportamiento en la operación de foliado vertical. Sus chapas no presentan problemas en el secado a alta temperatura, presentando una notoria diferenciación de color entre albura (clara) y duramen (oscuro). Su apariencia es más oscura que la chapa de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*.



Figura N° 1

ÁRBOL PLUS DE *Acacia dealbata* Y PRODUCTO ELABORADO POR INFOR CON MADERA DE ACACIA

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de las distintas experiencias señalan que especies y procedencias del género *Acacia* son interesantes alternativas y complementos para los forestadores e industrias dedicadas a la producción de pulpa, madera aserrada y otros productos en Chile.

Se hace necesaria más investigación en relación al manejo eficiente, especialmente al considerar el valor de su madera y sus posibilidades de comercialización, siendo actualmente el bajo diámetro de las trozas una condición restrictiva al momento de utilizar las especies a nivel comercial. En este sentido, se requiere desarrollar silvicultura de precisión orientada a producto, desde la selección de procedencias y progenies y el mejoramiento genético, hasta el manejo silvícola. Junto con considerar adecuados esquemas de manejo forestal, se debe recalcar la importancia de utilizar una adecuada selección de las semillas (procedencia, progenie) y adecuadas técnicas de establecimiento del rodal.

La información reunida ha analizado un conjunto de resultados que en sí constituyen un aporte y un logro en el trabajo con estas especies, sin embargo, es sólo el principio, requiriéndose de nuevas investigaciones, mayores plazos, opciones tecnológicas de desarrollo, análisis de productos y mercados, nuevos ensayos e información para generar y difundir las herramientas y alternativas de manejo que conduzcan al cultivo y aprovechamiento óptimos de estas especies en Chile. Muy importante también es el trabajo de transferencia y difusión para y masificar el uso de estas especies, como real alternativa para el sector forestal nacional.

Este trabajo es parte del trabajo de INFOR en materia de diversificación forestal, que deberá enfrentar nuevos desafíos y abordar diversas alternativas, las cuales también deben incluir los aspectos de análisis tecnológico y económico, los que están siendo abordados por esta nueva propuesta. Esto es importante actualmente dada la globalización de los mercados, lo cual trae consigo paralelos procesos de especialización, y es en este punto donde la investigación aplicada puede significar contar con ventajas competitivas, a través de las cuales el sector forestal pueda mantener e incrementar su rol como uno de los principales actores de la economía.

Las Acacias bajo investigación pueden ser un complemento y una oportunidad para el sector industrial utilizando para ello sitios marginales o complementarios para las especies tradicionales, especialmente para medianos y pequeños propietarios forestales, a través de la generación y uso eficiente de este recurso forestal, el cual les puede entregar un interesante retorno económico. Se espera que los productos, información y resultados de esta investigación puedan entregar interesantes y prometedoras alternativas, que permitan el uso y masificación de las especies considerada. Un segmento objetivo importante para la utilización de esta especie está representado por las áreas con algún nivel de erosión, en las cuales las especies de acacia han demostrado su utilidad como un agente recuperador y conservador del suelo.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del proyecto FDI-CORFO 02C8FD-13 "Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a Especies de *Acacia* Probadas en Chile", así como al personal de las empresas y propietarios particulares, sin los cuales esta investigación no se hubiera materializado.

REFERENCIAS

Batchelor, B.K.; Crawford, I.A and C.H. Turner, 1970. The assessment of a forest for pulping. *Appita* 24(1): 27-44.

Boland, D. ; Brooker, M.I.H.; Chippendale, G.M.; Hall, N.; Hyland, B.P.M.; Johnson, R.D.; Kleinig, D.A. and Turner, J.D., 1984. Forest trees of Australia. De. Thomas Nelson and C.S.I.R.O. Melbourne. 687p.

Grosse, H.; Kannegiesser, U.; Quiroz, Y. y Santelices, R., 1990. Silvicultura de algunas Acacias Australianas. INFOR. Concepción - Chile. 78p.

Higa, A.R., Dedecek, R.A., Dos Santos, A.F., Stein, P.P. y Simon, A.A., 1998. Desarrollo de sistemas de producción para acacia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Resumen. En Actas Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, 22 a 28 de noviembre de 1998, Valdivia, Chile.

INFOR, 2000. Informe gira tecnológica a Instituciones, Organismos de Investigación y Universidades de Sudáfrica. Documento Proyectos FDI *Acacia saligna* y Certificación Sanitaria de productos Forestales Primarios de Exportación. Santiago, Chile. Concepción, Diciembre 2000. 57p. más anexos.

INFOR, 2002. Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a Especies de Acacia Probadas en Chile. Formulario de presentación proyecto FDI. INFOR-CORFO. INFOR- Concepción 150 p.

Kannegiesser, U., 1990. Apuntes sobre algunas acacias australianas: 1. *Acacia mearnsii* De Willd. Ciencia e Investigación Forestal, Volumen 4 (2), Diciembre 1990. Instituto Forestal - Chile - Filial Corfo. pp.198-212.

National Academy of Sciences. 1980. Firewood crops. Shrubs and tree species for energy production. Vol. 1. Washington D.C. National Academy Press. 237 p.

Nicholas, I. and Brown, I. 2002. Blackwood. A Handbook for Growers and End Users. Forest Research Bulletin N°25. Forest Research. Rotorua, New Zeland.95p.

Pinilla, J.C. 2000. Descripción y antecedentes básicos sobre *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*. Informe Técnico N°147. INFOR-CORFO. 49p.

Pinilla, J.C.; Gutiérrez, B; Gutiérrez, J. 2000. Reporte de la visita a Embrapa, universidades y empresas de Brasil. Informe de Proyecto. Proyecto INFOR-FDI Incorporación de especies del género *Acacia* a la producción forestal chilena. Concepción, Chile, INFOR. 44p. más anexos. Sin publicar.

Pinilla, J.C.; Molina, M.P., Gutiérrez, B. y Gutiérrez, J. 2002. Incorporación de Especies de *Acacia* al Desarrollo Forestal Productivo: Avances de Investigación. En Actas: Primer Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 23-25 Octubre.

Pinilla S., J.C. y Hernández C., G. 2005. Antecedentes Generales Sobre Propiedades y Utilización de la Madera. En: Pinilla, J.C.; Molina, M. y Gutiérrez, B. (editores). *Investigación con Acacia dealbata, A. melanoxylon y A. mearnsii* en Chile. INFOR-CORFO. Concepción, Chile. Pp: 99-111.

Pinilla, J.C.; Hernández, G. 2006. Propiedades de la Madera de *Acacia mearnsii* de Willd Creciendo en Chile. I. Aptitud pulpable y contenido de extraíbles. Informe Técnico N°161. Concepción, Chile.

Torrealba, M., 1987. Estudios de tratamientos pregerminativos en *Acacia melanoxylon* R.Br. y ensayos de germinación en seis procedencias de Chile central. Tesis de grado presentada para optar al título de Ingeniero Forestal - Universidad Austral de Chile - Facultad de Ciencias Forestales - Valdivia. 83 p.

Turnbull, J.W. 1986. Multipurpose Australian trees and shrubs. Lesser known species for fuelwood and agroforestry: ACIAR Monograph Num. 1, 316 p.



RESEÑA Y FUTURO DEL SECTOR FORESTAL REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE

Juan Cerda Osorio¹

RESUMEN

Partiendo de la base que la IV Región de Coquimbo, en Chile, es una zona de transición en lo climático y vegetacional, que detenta un especial sistema de tenencia de la tierra, que carece de una tradición forestal y posee una alta proporción de su territorio afectado por distintos grados de erosión, tanto que el mayor problema ambiental es la Desertificación, se analiza el devenir sectorial en el período 1973 a 2005 y se proyecta el potencial productivo atribuyéndole un desarrollo forestal futuro.

El trabajo comienza con la recopilación de datos sobre las plantaciones forestales (principal actividad forestal realizada desde 1960 en adelante), respecto de su reorientación a contar de 1975 y masificación en el secano regional, principalmente costero, hasta llegar al año 1997 en que se define el sector forestal en la Región, momento en que se incorpora elementos de ordenamiento territorial, diversificación de especies y productiva, manejo de los recursos, ciertas definiciones de productos madereros y no madereros, educación y capacitación ambiental a fin de redefinir su potencial forestal.

Se discute la hipótesis que las especies forrajeras implantadas compiten con las forestales típicas o con frutales. Asimismo, se analiza la situación de las especies de alto crecimiento y demanda de agua, como el eucalipto, su relación con la creciente vocación exportadora de primores de la zona y la orientación de la Corporación Nacional Forestal con las especies de este género en el secano.

Finalmente, se concluye que el desarrollo forestal de la Región tiende a concentrarse en el secano, no obstante las incertidumbres como la sequía y la falta de opciones productivas claras, recuperando y poniendo en valor las especies nativas, complementadas con el debido manejo y aprovechamiento, así como el reconocimiento del aporte de arbustos y árboles forrajeros, que constituyen la mayoría de las plantaciones regionales.

Palabras claves: Desarrollo forestal, plantaciones forestales, zonas semiáridas.

¹ Corporación Nacional Forestal, Región de Coquimbo, Chile. Ingeniero Forestal, Jefe Departamento Forestal. juan.cerda@conaf.cl.



REVIEW AND FUTURE OF THE FOREST SECTOR REGION OF COQUIMBO, CHILE

SUMMARY

Regarding to climate and vegetation, Coquimbo Region is a transitional area, between the deserts on the north and the subhumid regions to the south. Characteristics of the Region as well are a special system of land possession, a lack of forest tradition and a high proportion of the territory under different levels of erosion and soil degradation. As a product of resources overuse, a major environmental problem to day is the desertification process and the actions from the forestry sector to combat this problem during the last four decades are analyzed in this paper.

Since 1960 the main forestry activity in the Region has been the establishment of forest plantations and the evolution of them in relation to species planted, other land uses and climatic conditions during the period is reviewed in this paper.

The work begins with the collection of data on forest plantations established firstly with fast growing species over irrigated soils, later with fodder species and finally concentrated on small owners dry lands and introducing new priorities, like degraded soils protection, species diversification and native species recovery.

It is concluded that the forest development in the Region tends to concentrate on non irrigated lands (secano), with the associated uncertainties related to the frequency and periodicity of droughts and the lack of information on technical alternatives to use the planted species. It is recognized the contribution of fodder bushes and also that of tree species like Eucalypts and Acacias, but native species appear as a more reliable alternative in order to face the adverse climatic conditions.

Keywords: Forest, forest development, forest plantations, semiarid zones, desertification.

INTRODUCCIÓN

La Región de Coquimbo tiene una superficie cercana a los cuatro millones de hectáreas, cuya mayor proporción la componen los suelos de aptitud forestal y silvopastoral (47,5%). Sin embargo, en esta zona no existe una cultura forestal, por parte de la comunidad y el sector forestal no tiene importancia económica como la agricultura, minería, pesca y turismo. Asimismo, esta Región presenta un marcado deterioro ambiental, representado básicamente por importantes niveles de erosión, disminución de la capacidad de sustentación de la vegetación por parte del recurso suelo, fragilidad manifiesta de los ecosistemas para resistir los impactos de las actividades productivas, todo ello condicionado por carencias importantes de recursos hídricos, provenientes de precipitaciones escasas y, generalmente, muy mal distribuidas.

En el contexto descrito, la desertificación, junto con ser el mayor problema ambiental, constituye un proceso resultante de la actuación de un sinnúmero de factores. El fenómeno de la desertificación, originado por la sobreutilización de los suelos, no sólo trae como consecuencia pérdidas de productividad en el sistema, sino que también provoca el empobrecimiento de la población rural allí existente y afecta al 85% de la superficie regional. Luego, los discursos regionales, sectoriales y ministeriales deben incorporar esta dramática situación con la finalidad que la mayor parte de la población tome conciencia de su presencia y efectos, así como de la necesidad de combatirlo transversalmente para contribuir a disminuir sus nefastas consecuencias. La forestación y la recuperación de suelos degradados son acciones fundamentales para revertir la desertificación con toda la acción social que ellas significan.

No obstante compartir la pertinencia de una definición amplia de sector forestal¹, como la respaldada por la Corporación Nacional Forestal, el análisis y las conclusiones y recomendaciones de este trabajo se centran en la forestación, debido a que ésta resulta ser la actividad más ampliamente desarrollada, en la que el Estado y los privados invierten, así como la que genera un mayor efecto multiplicador, en términos económicos y sociales en la Región.

MATERIAL Y MÉTODO

Material

Para la realización de este trabajo se contó con el siguiente material:

Estadística de plantaciones forestales de 34 años (Anexo N° 1)

Estadística de precipitaciones de 20 años (Anexo N° 2)

Computador con programas utilitarios necesarios como Microsoft Word, Excel y Arc View.

¹ Sector forestal en la IV Región abarca al conjunto de actividades técnicas y económicas, públicas y privadas, relacionadas con el manejo y uso múltiple de los recursos naturales vinculados a los bosques, montes y matorrales, con especial incidencia en lo referido a la conservación de suelos, aguas, vegetación y fauna, incluyendo aquellas actividades de investigación, control, fomento, educación y otras, que se vinculan a la gestión de tales recursos.



Método

El método consiste en revisar y procesar la estadística las plantaciones forestales, efectuando un análisis detallado del proceso de forestación regional y la distribución espacial de las mencionadas plantaciones en la Región. Además, esta estadística se compara con la de precipitaciones de similar periodo a fin de encontrar coincidencias entre plantaciones establecidas y lluvias ocurridas.

Para efectos del análisis, se considera como superficie significativa la que supera 1 ha.

Primero, en función de los datos anuales, se diferenciaron los periodos significativos a lo largo de los 34 años que dieran cuenta de las orientaciones de trabajo, de las políticas fomento a la forestación y modificaciones legales, los que muestran la integración temporal y participación de las especies involucradas.

Seguidamente, se seleccionó las cuatro especies que, individualmente, presentan la mayor superficie plantada al año 2005 (Cuadro N° 1) y se analiza el comportamiento de cada una de ellas mediante la representación gráfica de la tasa anual forestada, incorporando en el gráfico la tendencia lineal (Figuras N°s 1 a 4).

La distribución espacial de las plantaciones se obtuvo mediante el uso de sistema de información geográfico utilizando el programa Arc View.

El análisis se efectúa sobre las especies principales, establecidas en forma pura, dejando de lado las instaladas en plantaciones mixtas o pertenecientes a especies no seleccionadas. Ello significa que el marco de análisis engloba una cifra de 76.678 ha, que representa más del 96% del total regional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hacia 1973 las actividades relevantes del sector forestal en general y de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) en particular, estaban enfocadas a la protección de recursos forestales y la creación de nuevos recursos forestales.

Particularmente, en la creación de recurso forestal, se trabajaba sólo en áreas bajo riego, vía convenios de reforestación, completando al año 1974 un total de 462 ha plantadas (Cuadro N° 1), todas con *Eucalyptus globulus*.

A partir de 1975, se inicia un fuerte impulso enfocado a las áreas de secano y, dentro de ellas, hacia los sectores más desposeídos y marginados como son las Comunidades Agrícolas, antes de propiedad múltiple de predios indivisos, sobreexplotados y de recursos naturales y económicos extremadamente escasos. La reorientación territorial y poblacional y el cambio de prioridad hacia el establecimiento plantaciones de arbustos forrajeros, como *Atriplex nummularia* y *Atriplex repanda*, conducen a que a fines de 1977 ya se había instalado 1.759 ha en la Región (Cuadro N° 1). En este período se consolida el establecimiento de experiencias demostrativas con esas especies.

Cuadro N° 1
EVOLUCIÓN DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

PERIODO	<i>Acacia saligna</i>	<i>Atriplex sp.</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Prosopis chilensis</i>	SUPERFICIE TOTAL (Ha)
1973-1974	0.00	0.00	462.30	0.00	462.30
1975-1977	0.00	1.758.70	41.00	0.00	1.799.70
1978-1996	993.30	48.476.90	1.542.50	102.20	51.114.90
1997-2001	637.70	7.033.40	147.10	75.30	7.893.50
2002-2005	9.066.90	5.271.20	81.50	988.20	15.407.80
TOTAL	10,697.90	62,540.20	2,274.40	1,165.70	76,678.20

Fuente: Sistema Estadístico CONAF IV Región

En el periodo 1978 a 1996, la acción iniciada en la etapa anterior, tiene un fuerte posicionamiento y masificación de la forestación en el seco, fundamentalmente con las especies forrajeras ya mencionadas alcanzando una superficie de 48.477 ha. Paralelamente, los intentos por evitar el monocultivo de *Atriplex* y diversificar las especies forestales, llevaron a la incorporación de especies arbóreas, exóticas y nativas, como *Acacia saligna* y *Prosopis chilensis* (Cuadro N° 1).

Algo similar continúa pasando en el periodo 1997 a 2001, en que se mantiene la participación de las especies ya citadas. No obstante, debido a la incertidumbre que implicó la prolongada discusión respecto de la pertinencia, aplicabilidad y continuidad del principal instrumento de fomento forestal (DL 701 de 1974, modificado por la Ley N° 19.561, que otorga un incentivo del Estado a la forestación), cuya prórroga y modificaciones fueron aprobadas recién en 1998, se produce una baja significativa de la superficie plantada con las especies consideradas (Cuadro N° 1), pero surge una fuerte reorientación en materia de forestación, focalizando este instrumento en los pequeños propietarios e incorporando la aplicación de técnicas de recuperación de suelos. Como consecuencia de ello y finalmente coincidiendo con modificaciones en la tabla de costos, que guía los incentivos estatales para la forestación y otras labores asociadas, incorporando valores diferenciados para especies que permitan la diversificación forestal y la recuperación de las que tienen problemas de conservación, la tendencia de los arbustos forrajeros cede y da paso a un fuerte incremento de la superficie plantada (Cuadro N° 1) con *Acacia saligna* (9.067 ha) y *Prosopis chilensis* (988 ha), especies que representan tales finalidades.

Los datos estadísticos en análisis indican que la tasa de forestación anual, promedio para 34 años, es de 2.341 ha y que, para los últimos 4 años, ella subió a 3.851 ha. La superficie total plantada hasta el años 2005 en tanto, alcanza en la Región a 79.594 ha, de las cuales 76.678 ha corresponden a las especies revisadas en el presente trabajo.

Al analizar la participación de *Atriplex nummularia* en el proceso de forestación regional (Cuadro N° 1 y Figura N° 1), se visualiza que comienza a introducirse en el año 1975, presenta su máximo aporte en superficie entre 1979 y 1985, con tasas anuales del orden de 3.000 ha, para luego incidir con cifras menores, de unas 1.500 ha al año. Tales antecedentes pueden ser apreciados en la tendencia (lineal) que refleja claramente una disminución de la utilización de esta especie en las forestaciones regionales ($R \leq 0,089$) en la figura. Con todo, es la especie

más difundida y de mayor participación, ya que supera el 80% de las plantaciones de la Región de Coquimbo.

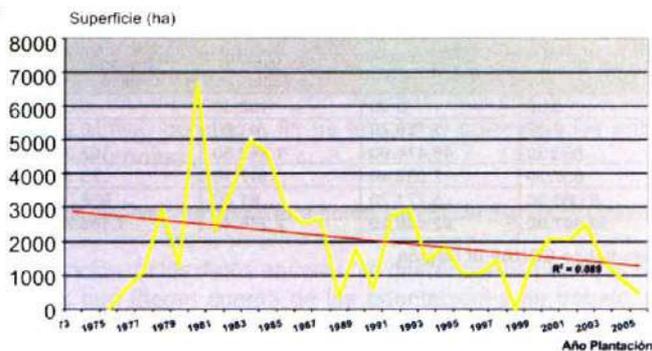


Figura N° 1
PLANTACIONES DE *Atriplex nummularia* (PERÍODO 1973 – 2005)

Por su parte, al analizar el comportamiento y participación de *Acacia saligna* (Cuadro N° 1 y Figura N° 2), se verifica que ella se introduce a partir de 1978, presenta su máximo aporte en superficie entre los años 2001 y 2005, con tasas anuales del orden de 2.000 ha. Los antecedentes reflejan una tendencia lineal creciente ($R^2 = 0,3444$) y es la segunda especie que más participa en el proceso de forestación regional, con un 14%.

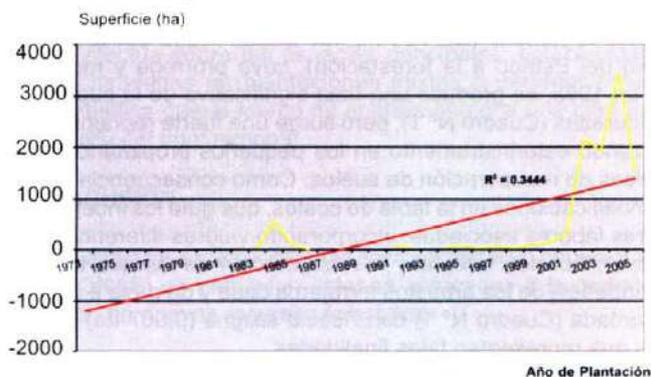


Figura n° 2
PLANTACIONES DE *Acacia saligna* (PERÍODO 1973 – 2005)

A su vez, al analizar la participación de *Eucalyptus globulus* (Cuadro N° 1 y Figura N° 3), se verifica que esta especie participa en el proceso de forestación regional, desde que se cuenta con registros, con un aporte máximo en superficie en los años 1973, 1974, 1985 y 1987, con tasas anuales cercanas a las 200 ha. Los antecedentes permiten reconocer una fuerte tendencia decreciente ($R^2=0,0252$) y que puede explicarse debido a la disminución de áreas bajo riego disponibles para forestación y a la competencia por terrenos disponibles con los cultivos de primores. Es la tercera especie en términos de superficie plantada, con un 3%.



Figura N° 3
PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus* (PERÍODO 1973 – 2005)

Finalmente, al revisar la participación de *Prosopis chilensis* (Cuadro N° 1 y Figura N° 4), se verifica que esta especie participa en el proceso de forestación regional a modo demostrativo en los años 1980 y 1981, para tomar participación constante a partir de 1993 y presentando su máximo aporte en superficie en el año 2004, con plantaciones de más de 600 ha. Los antecedentes permiten verificar una tendencia lineal positiva ($R^2 = 0,1473$), muy influida por los resultados de los años 2001 a 2005. Es la cuarta especie en términos de superficie plantada, con un 1,5% de participación.

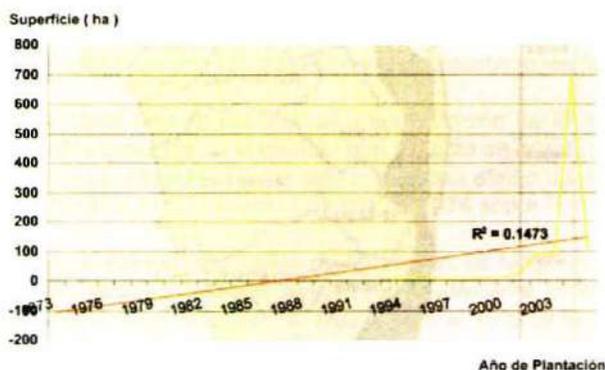


Figura N° 4
PLANTACIONES DE *Prosopis chilensis* (PERÍODO 1973 – 2005)

Al comparar los datos de plantaciones y precipitaciones anuales, se verifica que en años de escasa pluviometría, la superficie forestada es mínima a pesar que los incentivos y orientaciones estatales permanecen estables. Ello es indicativo de la influencia de las lluvias en el proceso de plantaciones forestales, en especial si éste se concentra en el seco, territorio que no sólo requiere de precipitaciones mínimas, sino que, además, una homogénea distribución a lo largo de la temporada de plantación.



Lo previamente citado resulta ser la contrapartida de las expresivas tasas de forestación evidenciadas al comienzo de la discusión de resultados. En términos específicos, se verifica que los años 1988, 1990 y 1998 fueron de escasa pluviosidad y en ellos la forestación anual fue de 461; 661 y 67 ha, respectivamente, los menores resultados alcanzados en el proceso de forestación regional.

Por último, al graficar los datos de la ubicación de las plantaciones forestales, se tiene que la superficie forestada en la Región se concentra principalmente en el secano costero, quedando una gran superficie por intervenir, especialmente en el secano interior, la zona centro norte y norte, donde las condiciones de sitio presentan un gran desafío. Se puede complementar lo antes indicado resaltando la falta de opciones de solución técnica, ambiental y económica para esas áreas, lo que se agrava debido a sus extremadamente difíciles condiciones edafoclimáticas.

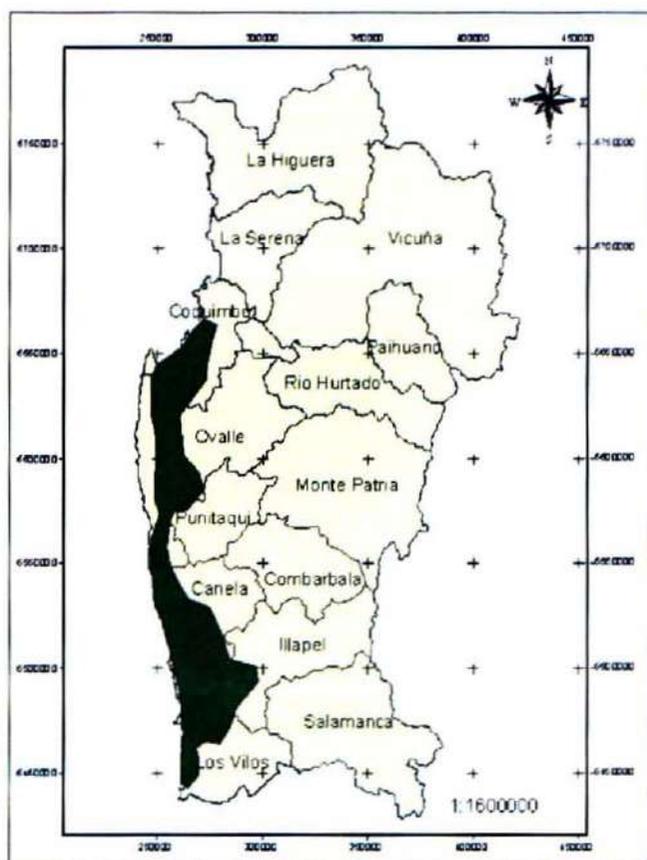


Figura N° 5
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PLANTACIONES FORESTALES

REFERENCIAS

- CERDA, J., 1981.** Proposición de Políticas, Estrategias y Metas para las Zonas Áridas y Semiáridas (III y IV Regiones – Chile). Documento CONAF IV Región. La Serena. 17 p.
- CERDA, J. y J. GONZALEZ, 1982.** Evaluación de las Plantaciones de *Atriplex repanda* Phil. y *Atriplex nummularia* Lindl. en Terrenos de la IV Región. Tesis Ingeniería Forestal, Escuela de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago. 109 p.
- CERDA, J., SOTO, G. y R. LIRA, 1981.** Estudio Predial del Sector Actualmente Forestable en la IV Región. Documento CONAF IV Región. La Serena. 76 p.
- CERDA, J., 1985.** Plan de Acción en Zonas Áridas y Semiáridas. Documento CONAF IV Región. La Serena. 22 p.
- CONAF, 1980.** Especies para Forestación en Zonas Áridas. Documento Corporación Nacional Forestal. Santiago. 114 p.
- CONAF – JICA, 1995.** Control de Erosión y Forestación en Cuencas Hidrográficas de la Zona Semiárida de Chile. CONAF y Agencia de Cooperación Internacional de Japón. Santiago. 141 p.
- FIDA, 1992.** Proyecto de Desarrollo Rural de Comunidades Campesinas y Pequeños Agricultores de la IV Región. Santiago. 76 p. más anexos.
- INFOR, 1995.** Actividades del Instituto Forestal en la IV Región del País. Documento mimeografiado. 8 p.
- PAF, 1993.** Informe Final Comisión de Trabajo del Plan de Acción Forestal para Chile, en la IV Región. La Serena. Chile. 7 p. más anexos.
- PEÑA, A. 1989.** La Utilización de los Arbustos Forrajeros en la IV Región. Documento mimeografiado. CONAF IV Región. La Serena. 28 p.
- PIZARRO, R., 1997.** Plan de Desarrollo Forestal Ambiental IV Región de Coquimbo. Corporación Nacional Forestal y Proyecto de Desarrollo Rural para Comunidades Campesinas y Pequeños Productores de la IV Región de Coquimbo (PRODECOP). 154 p. más anexos.
- SOTO, G., 1982.** Evaluación Silvícola de las Plantaciones de *Atriplex repanda* Phil. y *A. nummularia* Lindl. en la IV Región. Tesis Ingeniería Forestal. Santiago, U. de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 138 p.
- TORRES, J., 1993.** Problemática Forestal y de Medio Ambiente en la IV Región de Coquimbo. Fundación Friedrich Naumann. La Serena. 130 p.
- UNIVERSIDAD DE CHILE, 1994.** Plan Nacional de Acción para Combatir la Desertificación. Documento de Trabajo. Santiago. 104 p. más anexos.

ANEXO N° 1
ESTADÍSTICA DE PLANTACIONES FORESTALES 1973 A 2005

Año	Especies				TOTAL
	<i>Acacia saligna</i>	<i>Atriplex sp.</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Prosopis chilensis</i>	
1973			242,50		242,50
1974			219,80		219,80
1975		26,00	5,00		31,00
1976		599,00	17,00		616,00
1977		1.133,70	19,00		1.152,70
1978		2.957,70	35,00		2.992,70
1979		1.290,30	15,00		1.305,30
1980		6.672,40	6,00	16,30	6.694,70
1981		2.334,80	7,00	28,80	2.370,60
1982		3.594,20			3.594,20
1983	25,00	5.003,70	102,70	1,00	5.132,40
1984	570,80	4.614,60	53,20		5.238,60
1985	107,00	2.991,50	178,00		3.276,50
1986	1,50	2.534,60	187,50	13,50	2.737,10
1987		2.678,60	76,40		2.755,00
1988	21,00	365,10	20,70		406,80
1989		1.775,60	16,30		1.791,90
1990		601,00	60,00		661,00
1991	75,00	2.779,20	15,50		2.869,70
1992	56,00	2.928,00	93,50		3.077,50
1993		1.421,70	239,90	7,40	1.669,00
1994	44,20	1.853,00	241,40	8,20	2.146,80
1995	65,40	1.041,00	187,90	19,40	1.313,70
1996	27,40	1.039,90	6,50	7,60	1.081,40
1997	71,00	1.447,30	28,50	7,20	1.554,00
1998	15,40	1,00	25,70	7,40	49,50
1999	96,40	1.448,70	52,40	14,50	1.612,00
2000	147,00	2.092,50	10,80	13,00	2.263,30
2001	307,90	2.043,90	29,70	33,20	2.414,70
2002	2.160,30	2.499,10	30,90	96,70	4.787,00
2003	1.937,80	1.415,40	8,20	87,90	3.449,30
2004	3.431,90	880,00	42,40	694,60	5.048,90
2005	1.536,90	476,70		109,00	2.122,60
TOTAL	10.697,90	62.540,20	2.274,40	1.165,70	76.678,20

ANEXO N° 2
ESTADÍSTICA DE PRECIPITACIONES 1973 A 2004

Año	Estación Ovalle DGA	Estación La Canela DMC	Estación La Serena Escuela Agrícola	Estación Illapel DGA
1973	76,5	91,0	52,2	126,4
1974	71,2	105,0	47,2	140,4
1975	73,0	95,0	66,1	93,7
1976	81,6	93,0	83,5	77,5
1977	158,2	132,5	79,1	204,1
1978	99,5	0,0	40,7	179,7
1979	9,9	17,4	7,2	39,4
1980	242,9	249,0	101,0	253,2
1981	88,5	128,7	72,3	130,7
1982	130,0	266,6	53,3	292,7
1983	182,5	207,6	167,9	215,1
1984	209,8	325,5	148,4	306,5
1985	41,3	53,0	36,7	55,9
1986	49,3	155,8	50,1	157,7
1987	184,8	509,6	181,6	513,4
1988	21,3	50,7	11,7	57,5
1989	87,4	115,0	27,4	104,3
1990	37,0	51,8	26,5	63,4
1991	150,2	197,8	128,8	200,8
1992	247,4	277,3	240,9	307,2
1993	69,8	163,0	61,0	162,5
1994	43,3	65,2	31,9	71,0
1995	32,5	67,8	13,1	93,7
1996	52,4	63,0	50,0	95,9
1997	299,7	436,4	221,8	436,0
1998	8,6	15,1	29,0	15,8
1999	73,8	120,9	65,0	148,0
2000	159,3	205,3	106,6	252,0
2001	137,2	215,2	144,2	204,9
2002	202,1	283,1	191,9	393,9
2003	74,0	88,5	93,1	103,3
2004	130,2	164,1	128,7	203,5
Media	110,2	156,8	86,2	179,8
Máxima	299,7	509,6	240,9	513,4
Minima	8,6	0,0	7,2	15,8

EFFECT OF *Acacia melanoxylon* WOOD DENSITY ON PAPERMAKING POTENTIAL

Carla Delgado¹, António Santos², Rogério Simões² and Ofélia Anjos^{1,3}

SUMMARY

The behaviour in kraft cooking and papermaking of 6 *Acacia melanoxylon* wood chip samples, with basic densities of 449; 489; 493; 505; 514 and 616 kg/m³ is studied in this work. The wood chip samples were screened and submitted to the kraft cooking process. Experiments were carried out with 1000-g od of wood in a forced circulation digester. The cooked chips were disintegrated, screened and washed. The screened and total yields, kappa number and pulp viscosity were determined according to the standard methods. The morphological properties of pulp fibres were determined by image analysis of a diluted suspension in a flow chamber in Morfi®. The unbleached kraft pulps were submitted to a bleaching D₀E₁D₁E₂D₂ sequence and their papermaking potential evaluated. The pulps were beaten in a PFI mill at 500; 2500 and 4500 revolutions under a refining intensity of 1.7 N/mm. Paper handsheets were prepared according to the Scan standard and tested regarding structural, mechanical and optical properties.

Regarding the pulping potential, the pulp yield ranged between 47.7 and 57.7%. The selected wood samples provided bleached kraft pulps with markedly different biometrics characteristics. In fact, the mean values of fibre length, fibre width and coarseness ranged between 0.77 and 0.98 mm, 17.8 and 19.4 µm, 4.8 and 6.2 mg/100m, respectively. As expected, these biometrics characteristics have very high impact on paper structure, including smoothness, and on mechanical and optical properties, for the unbeaten pulps. At a given beaten level, the differences between pulps remain very high. Moreover, for a given paper density, tensile and tear strength, and light scattering coefficient are significantly different. To reach a given paper density, however, the different pulps required very different energy consumptions in beating.

Keywords: *Acacia melanoxylon*, wood basic density, papermaking potential, fibre characteristics

¹ Escola Superior Agrária de Castelo Branco, Quinta da Senhora de Mércules, Apartado 119 – 6001 Castelo Branco – Portugal, ofelia@esa.ipcb.pt

² Research Unit of Textile and Paper Materials, Universidade da Beira Interior, 6201-001 Covilhã – Portugal, antonio.santos@efn.com.pt, rog.simoes@ubi.pt

³ Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, 1349-017 Lisboa, Portugal.

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE LA MADERA EN *Acacia melanoxylon* PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL

RESUMEN

Se estudia en este trabajo el comportamiento de seis muestras de astillas de madera de *Acacia melanoxylon*, con densidades básicas de 449; 489; 493; 505; 514 y 616 kg/m³, en un proceso kraft de cocido y fabricación de papel. Las muestras de astillas fueron cribadas y enviadas al proceso de cocimiento kraft. Los ensayos fueron desarrollados con 1000 g de madera seca en horno puestas en un digestor de circulación forzada. Las astillas cocidas fueron desintegradas, cribadas y lavadas. Los rendimientos cribados y totales, el número kappa y la viscosidad de la pulpa fueron determinados de acuerdo a métodos estándares. Las propiedades morfológicas de las fibras de la pulpa fueron determinadas mediante análisis de imagen de una suspensión diluida en cámara de flujo Morfi®. Las pulpas kraft sin blanquear fueron enviadas a una secuencia de blanqueo D₀E₁D₁E₂D₂ y se evaluó su potencial para fabricar papel. Las pulpas fueron batidas en un molino PFI a 500; 2500 y 4500 revoluciones bajo una intensidad de refinado de 1,7 N/mm. Las láminas de papel fueron preparadas de acuerdo al estándar scan y probadas según propiedades estructurales, mecánicas y ópticas.

Respecto del potencial de pulpaje, el rendimiento en pulpa varió entre 47,7 y 57,7 %. La muestras de madera proporcionaron pulpa kraft blanqueada con características biométricas marcadamente diferentes. De hecho, los valores medios de largo de fibra, ancho de fibra y grosor de grano variaron entre 0,77 y 0,98 mm, 17,8 y 19,4 μm, y 4,8 and 6,2 mg/100m, respectivamente. Como se esperaba, estas características biométricas tienen un alto impacto en la estructura del papel, incluyendo suavidad, y en las propiedades ópticas y mecánicas, para las pulpas no batidas. A un nivel de batido dado, las diferencias entre las pulpas permanecen altas. Además, para una densidad dada del papel, la resistencia a la tensión y al rasgado y el coeficiente de dispersión liviana son significativamente diferentes. Para alcanzar una densidad dada de papel sin embargo, las diferentes pulpas requieren muy diferentes consumos de energía de batido.

Palabras claves: *Acacia melanoxylon*, densidad básica de la Madera, fabricación de papel, características de la fibra.

INTRODUCTION

Acacia melanoxylon R. Br., usually named Blackwood, grows spontaneously in Portugal. This species is well adapted to the Portuguese soil and climate and can grow in pure or mixed stands with other species namely *Pinus pinaster* Aiton.

The *A. melanoxylon* timber has good characteristic to be used for panelling, veneers, furniture, craftwood and it is universally regarded as an excellent interior feature timber. This species can also be used for pulp production and present good performance in different paper grades. Several authors have studied their pulping and paper making potential (Clark *et al.*, 1991; Guigan *et al.*, 1991; Furtado, 1994; Gil *et al.*, 1999; Paavilainen, 2000; Santos *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2006a; Santos *et al.*, 2006b). So, in Portugal Blackwood can be considered as an alternative raw material for sawmills and pulp industry. In addition, this species has a good annual increment (0.89 cm.ano^{-1}) (Santos *et al.*, 2006a), when compared with the Maritime Pine (0.58 to 0.85 cm.ano^{-1}) (Tavares *et al.*, 2004) and Eucalypt (0.84 to 0.96 cm.ano^{-1}) (Tomé *et al.*, 2001), that are the most representative species in Portugal.

For the paper industry the raw material has good potential; at a given drainage resistance ($30 \text{ }^{\circ}\text{SR}$), the papers produced with *Acacia* (*A. dealbata* and *A. melanoxylon*) present higher apparent densities than Eucalypt (0.80 to 0.66 g/cm^3) (Santos *et al.*, 2004) because their pulp fibres have lower coarseness and higher flexibility and collapsibility. These fibres lead to papers with good relationship between light scattering and tensile strength, at low refining energy consumption (Santos *et al.*, 2006b).

The relationships between paper properties and raw material properties, namely wood chip density, have been studied by several authors (Paavilainen 1989; Paavilainen, 2000; Downes *et al.*, 2003; Kibblewhite *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2006c). On the other hand, it is very well documented that there is a quite high variability of the fibre morphology within trees, between trees within a stand, and between trees from different stands (Evans *et al.*, 1999; Downes *et al.*, 2003;), but no study for *A. melanoxylon* were carried out about this subject.

The objective of this work is to evaluate the influence of wood density and fibre morphology on beating development and on paper structure and corresponding paper properties.

MATERIAL AND METHODS

Six wood chip samples of *A. melanoxylon* were selected from a set of 120 samples, comprising 4 sites, 5 trees per site and 6 levels per tree. Considering both the wood density and the height levels in the trees, six samples were selected. The chip basic density was determined according to the Tappi 258 om-94 standard procedure. The wood chips (100-g o.d.) were submitted to a conventional kraft cooking process, in a forced circulation digester, under the following reaction conditions: effective alkali charge - variable; sulfidity index - 30%; liquor/wood ratio - 4/1; time to temperature - 90 min; time at temperature ($160 \text{ }^{\circ}\text{C}$) - variable. The cooked chips were disintegrated, washed, and screened on a L&W screen with 0.3 mm slot width. The accepted material was collected on a 200 mesh screen. The screened

and total yields, kappa number and pulp viscosity were determined according to the standard methods. The brown-stocks were bleached according to the following bleaching sequence: $D_0E_1D_1E_2D_2$.

The morphological properties of pulp fibres were determined automatically by image analysis of a diluted suspension (20 mg/L) in a flow chamber in Morfi®. The pulps were beaten in a PFI mill at 500, 2500 and 4500 revolutions under a refining intensity of 1.7 N/mm.

The water retention value (WRV) was determined according to the Silvy *et al.* procedure, in the suspension with and without fines; these were removed in the Bauer-McNett® apparatus, using a 100 mesh screen. Paper handsheets were prepared according to the Scan standard, and tested regarding structural, mechanical and optical properties.

RESULTS

The cooking conditions required by the 6 samples to produce kraft pulp with kappa number in the range of 13 to 17 were slightly different (Table 1). In particular, the wood sample with highest basic density exhibit the lowest alkali consumption and led to a pulp yield which is 4-10 points higher than those exhibited by the other wood samples. This result is consistent with very high cellulose content of the wood sample. In addition, the pulp yields compare very well with those reported for *E. globulus* wood. The pulp viscosities are lower than those reported by Santos *et al.* (2006) for the same species. These differences can be tentatively attributed to the higher alkali charge used in the cooking, but the effects of other factors are possible.

TABLE 1
COOKING CONDITIONS AND RESULTS

	Samples provenance					
	O_1_15	PL_5_65	PL_5_B	PL_1_5	C_1_B	O_3_B
	Chip basic density (kg/cm ³)					
	449	489	493	505	514	616
Effective alkali charge (%. as NaOH)	19.6	20.4	20.4	21.3	19.6	20.4
Sulfidity (%)	30	30	30	30	30	30
Time to temperature (min)	90	90	90	90	90	90
Time at temperature (160°C) (min)	80	80	90	80	80	80
Pulp yield (%. on wood)	53.6	52.6	47.7	49.0	53.4	57.7
Rejects (%. on wood)	1.6	0.7	0.4	1.7	0.7	1.6
Effective alkali consumption (%. as NaOH)	18.9	16.4	16.9	17.4	16.4	15.8
Kappa number	15.7	16.8	15.1	15.8	14.2	13.2
Viscosity. cm ² .g ⁻¹ (UP)	769	1065	816	1020	828	795
Viscosity. cm ² .g ⁻¹ (BP)	656	782	809	876	791	782

UP - unbleached pulps. BP- bleached pulps.
 O_1_15 - wood samples get from 15% height level three.
 PL_5_65 - wood samples get from 65% height level three.
 PL_1_5 - wood samples get from 5% height level three.
 PL_5_B C_1_B O_3_B - wood samples acquire from the bottom of the different threes

Fibre Properties

Table 2 shows the biometric characteristics of the fibres from the six pulps for the three beating levels. The pulp fibres obtained from the wood with the highest basic density have highest coarseness, highest width and highest length (length-weighted).

Regarding to mean fibre length, the analysis of the values for the PL_1 tree shows

that this morphological property decrease significantly with the height in the tree. On the other hand, the samples from the base of the trees exhibit in general significantly higher coarseness than the samples from the higher levels in the tree height. The exception is the sample PL_5_B, which also shows an extremely low pulp yield.

TABLE 2
FIBRE CHARACTERISTICS OF UNBEATEN PULPS

Density kg/m ³	Provenance	PFI. Rev	Fibres/g x 10 ⁶	Fibre width (µm)	Length. length-weighted (mm)	Coarseness (mg/m)
449	O_1_15	0	26.125	19.2	0.864	0.052
		500	25.922	19.1	0.867	0.052
		2500	26.950	19.1	0.861	0.050
		4500	25.405	19.2	0.855	0.054
489	PL_5_65	0	31.262	17.8	0.775	0.048
		500	31.340	17.9	0.772	0.048
		2500	31.864	17.7	0.772	0.048
		4500	31.927	17.7	0.771	0.048
493	PL_5_B	0	26.846	18.5	0.828	0.053
		500	26.139	18.5	0.837	0.054
		2500	26.217	18.5	0.832	0.054
		4500	26.392	18.5	0.825	0.054
505	PL_1_5	0	26.188	18.1	0.844	0.053
		500	26.703	18.0	0.847	0.052
		2500	26.644	18.2	0.845	0.053
		4500	25.738	18.5	0.835	0.056
514	C_1_B	0	24.190	18.8	0.823	0.059
		500	23.085	18.6	0.825	0.062
		2500	24.039	18.7	0.814	0.061
		4500	23.082	19.0	0.827	0.062
616	O_3_B	0	19.665	19.4	0.988	0.062
		500	19.603	19.3	0.987	0.062
		2500	19.841	19.3	0.979	0.062
		4500	19.743	19.5	0.978	0.063

Papermaking Potential

The evolution of the drainability resistance of the pulp suspension is represented in Fig. 1, for the six pulps studied. The different behaviors are clear even for the unbeaten pulps but are more impressive for the full beaten pulps. The experimental results clearly show that drainage resistance development decrease with wood density increase. Moreover, considering the wood chip provenance in the tree, we can verify that the pulps with the lower drainage resistance development (493, 514, and 616) are associated with the samples originated from the tree bottom. In addition, the lowest development of this property is associated with the highest fibre coarseness.

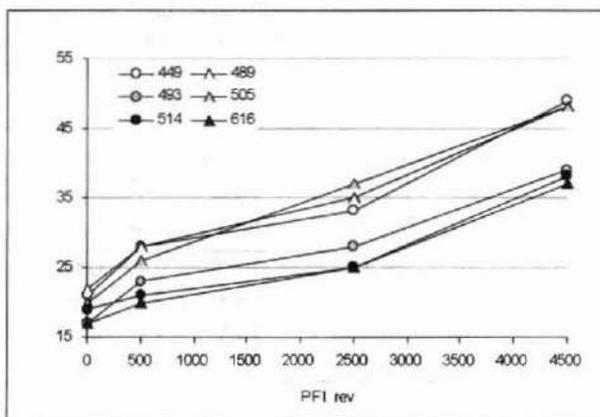


Figure 1
EVOLUTION OF THE SCHOPPER RIEGLER DEGREE (°SR) WITH BEATING FOR THE *A. melanoxylon* PULPS.

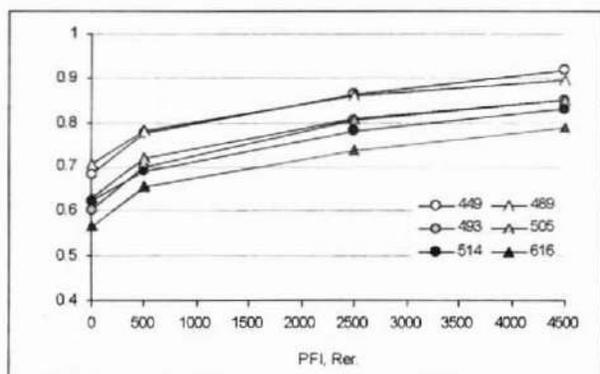


Figure 2
EVOLUTION OF PAPER DENSITY WITH BEATING FOR THE *A. melanoxylon* PULPS

The experimental results of paper density (Fig. 2) reveals that the pulps produced from the wood chips with the lower basic density (449 and 489 kg/m³) exhibit values markedly higher than the pulps produced from wood samples with higher wood density. The pulp originated from the sample with both the highest wood basic density and pulp yield density very hardly.

Regarding mechanical properties, *A. melanoxylon* pulp produced with lowest density wood (wood chip 449 kg/m³) exhibits the highest tensile index (Fig. 3) at a given PFI revolutions, and this performance remains over the beating period. In addition, these results are consistent with those observed for the paper density. In fact, papers with higher density have strong structures and consequently higher resistances. But if it is observed the relation between the

tensile index and paper density can be seen that the papers produced with the wood chip with the highest density have the highest tensile index, but at the expense of higher energy consumption in beating.

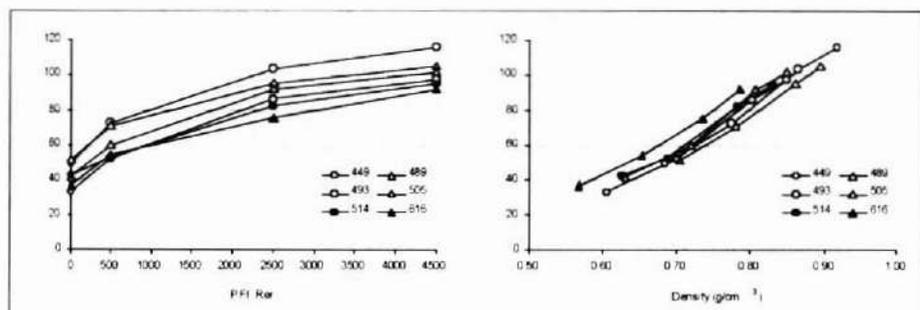


Figure 3

EVOLUTION OF TENSILE INDEX AS A FUNCTION OF PFI REVOLUTIONS (A-LEFT) AND PAPER DENSITY (B-RIGHT) FOR THE *A. melanoxylon* PULPS.

The paper strength given by the zero-span tensile strength test (dry and wet) was represented in Figure 4 and seem to indicate a slightly decrease of this property for the wood fibres from the tree base. The reasons behind these observations are yet under investigation.

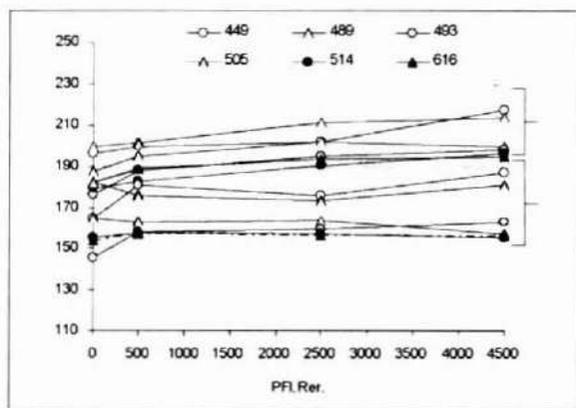


Figure 4

EVOLUTION OF ZERO-SPAN TENSILE STRENGTH, DRY AND WET, WITH PFI REVOLUTIONS.

The papers produced with fibres with lower coarseness (fibres from lower wood density – 449 kg/m³) have a higher internal resistance. This could be explained by higher ability of these fibres for collapsing in the paper structure and developing inter-fibre bonding.

Light scattering coefficient is represented versus apparent paper density in Figure 5,

where a very different behavior can be observed for the tested wood samples. The light scattering ability decreases with the coarseness, as expected, because these fibres have lower specific surface area. Similar results were reported by Ludovina *et al.* (2005) with *E. globulus*. The mechanical treatment applied in the beating process diminishes the light scattering coefficient due to the improved links between fibres, fibrils and fines.

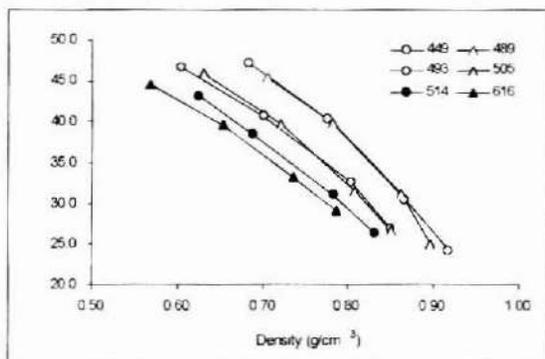


Figure 5

EVOLUTION OF LIGHT SCATTERING COEFFICIENT AS A FUNCTION OF PFI REVOLUTIONS

At the beginning of the beating process, the tear index values (Figure 6) increase significantly for all pulps, but this effect is more evident for the pulp originated from the wood samples with low density.

Thereafter, the tear index increases very slowly or level off. For low beating levels the fibres are pulled out from the paper structure and the inter-fibre bonding play a positive role on tear resistance development. For much higher beating levels, where intense inter-fibre bonding exists, the fibres are removed from the structure by fibre rupture, which can involve lower energy than fibre pulled out. On the other hand, the pulps with the fibres in the range of high coarseness exhibit lower tear resistance in consequence of the lower number of fibres per gram. However, the coarse fibres can exhibit good performance if the apparent paper density is considered as a reference (Fig. 6-b).

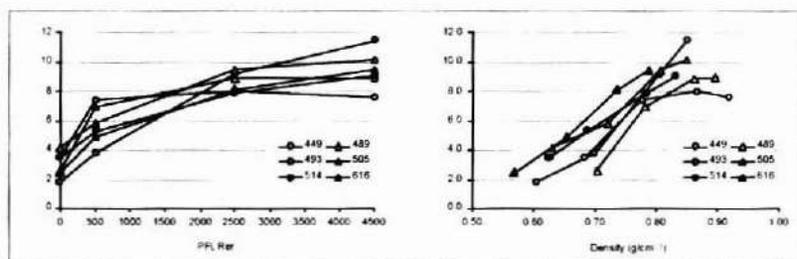


Figure 6

EVOLUTION OF TEAR INDEX AS A FUNCTION OF PFI REVOLUTIONS (A-LEFT) AND PAPER DENSITY (B-RIGHT)

The results of ANOVA analysis show that the effect of wood density on all paper properties are significant ($P < 0.001$) and represent an important amount of the total variance. For the paper density the percentage of variance is higher than for the other studied properties.

Variance Explained by Principal Components Analysis

In this work is used principal components analysis to investigate the differences in fibre characteristics and paper properties, as well as their interaction for the papers produced from wood chips with different densities. Three factors were chosen in this study because the 3rd one explains 10.3% of total variation and there are one variable that is well explain by this factor.

In Fig. 7 each point represents the mean of a given property, for the six pulp samples. The first component explains 52.1% and the second explains 28.4% of total variation.

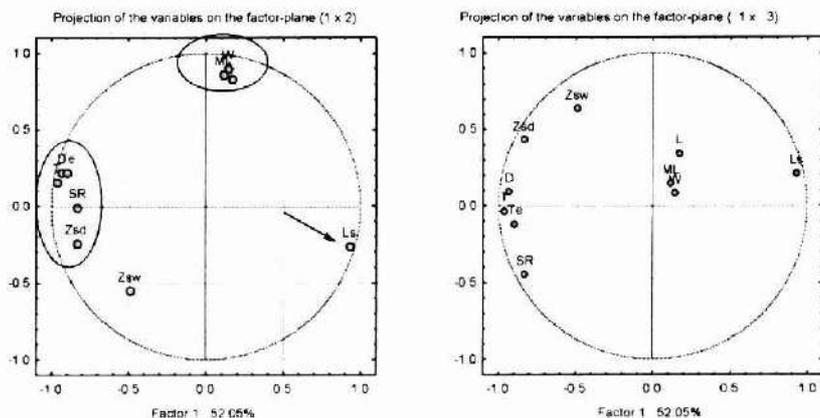


Figure 7
RELATIVE DISTRIBUTION OF PAPER CHARACTERISTICS ACCORDING TO THE FACTORS RESULTING FORM MULTI-VARIATED ANALYSIS COMPONENTS.

Factor 1, which defines the first component of paper properties, includes a series of properties, which are significantly correlated amongst themselves: paper density (D), Shopper degree (SR), tensile index (T), tear index (Te) and dry zero-span (Zsd). The light scattering coefficient (Ls) is also strongly correlated with the previous group but in inverse order. In fact, all the first variables showed a strong correlation with paper density and the way fibres connect to form papers with higher mechanical resistance. Similar results are observed by Santos *et al.* (2005) with acacia and eucalyptus papers. In Factor 2, components coarseness (ML), fibre width (W) and length (length-weighted) (L) have positive coefficients. The factor 3 was explained by the wet zero-span (Zsw), and this factor isn't well correlated with the other variables.

Also are projected the cases onto the same system of vectors. Figure 8 shows how the values of different wood chips density are correlated. The paper produced with wood chip density 449 kg/m³, 489 kg/m³, 505 kg/m³ and 616 kg/m³ are clearly different between itself and the paper produced with wood chip density 493 kg/m³ and 514 kg/m³ don't represent a higher differences between them but are different for the others.

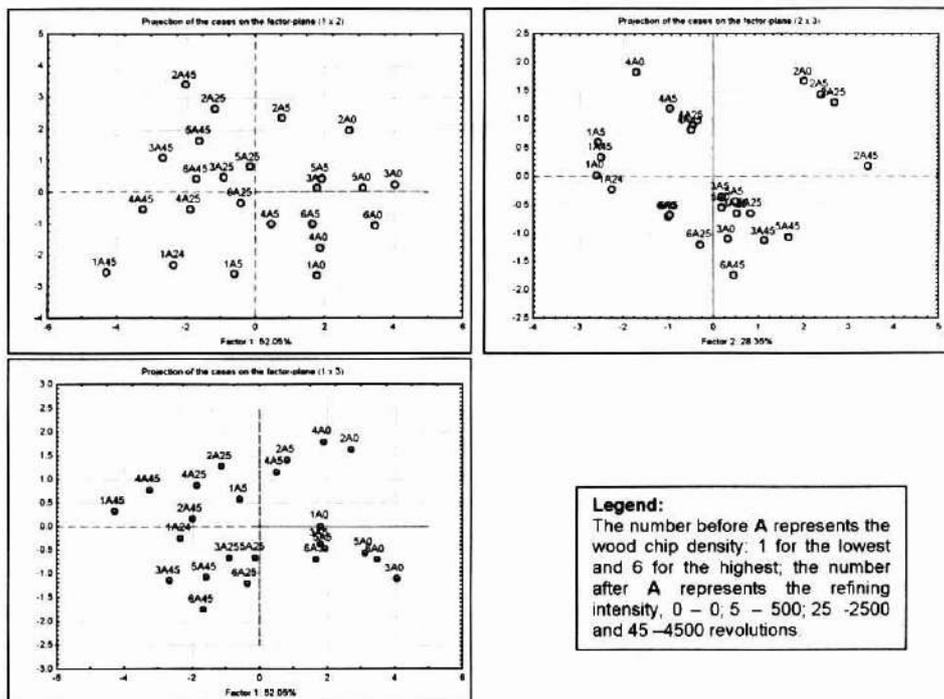


Figure 8
 PROJECTION DIAGRAM OF THE CASES ON THE FACTOR PLANE.

CONCLUSION

The experimental results obtained in this work have shown that wood density is an important predictor of the fibre morphology and papermaking potential. The wood samples with very high wood density provide coarse fibres that develop beating slowly and produce bulky paper structures. At a given paper density, however, these pulp fibres can produce papers with very good performance in terms of tensile strength but poor tear resistance. Moreover, these fibres have relatively low specific surface area and provide papers with low light scattering ability. On the contrary, the wood samples with moderate wood density provide pulp fibres with lower coarseness, which develop beating and densify more easily, and perform better in papermaking.

REFERENCES

- Clark B., Balodis V., Guigan F., Jingxia W., 1991. Pulping properties of tropical acacias. Proc. Int. Workshop on Advances in tropical acacia research, Bangkok, p.138
- Downes. G., Evans. R., Wimmer. R., French. J., Farrington. A. and Lock. P., 2003. Wood, pulp and handsheet relationships in plantation grown *Eucalyptus globulus*. *Appita J.* 56(3): 221
- Evans. R., Kibblewhite. R.P. and Lausberg. M., 1999. Relationships between wood and pulp properties of twenty-five 13 year old radiate pine trees. *Appita J.* 52(2): 132
- Furtado P., 1994. Caracterização de acácias e estudo da sua incorporação na produção de pasta. Internal Report of Raiz-Instituto de Investigação da Floresta e Papel, Aveiro, Portugal.
- Gil C., Amaral M^a E., Tavares M., Simões R., 1999. Estudo do potencial papeleiro da *Acacia* spp". In Proc. 1^o Encontro sobre Invasoras lenhosas, Gerês, Portugal, p. 171.
- Guigan F., Balodis V., Jingxia W., Clark N.B., 1991. Kraft pulping properties of *Acacia mearnsii* and *A. silvestris*. Proc. Int. Workshop on Advances in tropical acacia research, Bangkok, p.145
- Kibblewhite. R.P., Evans. R. and Riddell. M.J.C., 2003. Interrelationships between kraft handsheets, and wood fibre and chemical properties for the trees and logs of 29 *Eucalyptus fastigata* and 29 *E. nitens*. Proc. 57th Appita Ann. Gen. Conf., Melbourne, p. 99
- Ludovina F., Santos, A., Amaral E., Anjos, O., Simões, 2005. Características biométricas das pastas de *Eucalyptus globulus* produzidas a partir de madeira de diferentes densidades. *Tecnicepa XIX encontro Nacional Inovação e Competitividade*, Tomar, 20-23 de Abril, p:25-32.
- Paavilainen. L., 1989. Effect of sulphate cooking parameters on the papermaking potential of pulp fibres. *Paperi ja Puu – Paper and Timber*, 71 (4): 356
- Paavilainen L., 2000. Quality-competitiveness of Asian short-fibre raw materials in different paper grades. *Paperi ja Puu – Paper and Timber*, 82 (3): 156
- Santos A., Anjos A., Simões R., 2002. Estudo preliminar sobre o potencial papeleiro da *Acacia* spp.. In II Congresso Ibero-Americano de pesquisa e desenvolvimento de produtos florestais, I seminário em tecnologia da madeira e produtos florestais não-madeiráveis, Curitiba, Brasil, in Cd-room.



Santos A., Simões R. and Anjos O., 2005. Principal component analysis as a tool to correlate properties of different laboratorial papers. XV International Papermaking Conference, Efficiency of papermaking and paper converting processes, in Cd Room. Wrocław, Poland, 28-30 September.

Santos A., Teixeira A., Anjos O., Simões R., Nunes L., Machado J., Tavares M., 2006a. Utilização potencial do lenho de *Acacia melanoxylon* a crescer em povoamentos puros ou mistos com *Pinus pinaster* pela indústria florestal portuguesa. In Press

Santos A., Anjos O., Simões R., 2006b. Papermaking potential of *Acacia dealbata* and *Acacia melanoxylon*. *Appita J.* 59(1): pp. 58-64.

Santos A., Amaral, M.E., Anjos O., Simões R., 2006c. Effect of *Eucalyptus globulus* wood density on papermaking potential. Submitted to *TAPPI Journal* - May 2006

Tavares M., 2004. 2º Relatório de execução material do Projecto POCTI/42594/AGR/2001 - Valorização do lenho de acácia produzido em Portugal. Potenciais utilizações. FCT/INIAP Lisboa.

Tomé M., Ribeiro F., Soares P., 2001. O modelo GLOBULUS 2.1. RTC-GIMREF nº1/2001. Instituto Superior de Agronomia – Departamento de Engenharia Florestal. Lisboa.

EFFECTOS DE PLANTACIONES DE ACACIAS SOBRE LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES, LAS PROPIEDADES DEL SUELO, LA MINERALIZACIÓN Y EL MICROCLIMA EN PRADERAS DE MT. MAKILING, FILIPINAS

Yong Kwon Lee¹, Don Koo Lee², Su Young Woo³ and Pil Sun Park⁴

RESUMEN

Las actividades de rehabilitación mejoran funcionalmente los ecosistemas degradados a través del cambio positivo de composición de especies, propiedades del suelo, mineralización y microclima. Los cambios en estas condiciones son evaluados en el área de estudio de Mt. Makiling que ha estado protegida contra incendios durante los últimos 12 años. El área se quemó extensamente en 1991 y fue reforestada mediante plantaciones de *Acacia mangium* y *Acacia auriculiformis*. Se seleccionó tres sitios de estudio en el año 2003, de los cuales dos fueron plantados con *A. mangium* y *A. auriculiformis* y uno permanecía dominado por *Imperata cilíndrica* y *Saccharum spontaneum*.

Durante 12 meses, entre agosto 2003 y junio 2004, se midió temperatura y humedad relativa del aire cada hora y temperatura del suelo cada 2 h por 11 meses, usando HOBO data loggers. *A. auriculiformis* mostró mayor crecimiento en altura y DAP que *A. mangium*, en plantaciones de 10 años de edad. Sin embargo, en las plantaciones de *A. mangium* aparecieron más especies. Las concentraciones de N en el suelo en las plantaciones de acacias fueron significativamente mayores que las registradas en las praderas. La razón C/N en el suelo en las praderas fue significativamente mayor que la medida en plantaciones de *A. mangium*. La variación estacional de la mineralización neta en N fue marcada, con valores máximos en septiembre en las plantaciones de acacias. Las praderas mostraron no sólo mayor temperatura del aire, humedad relativa y temperatura del suelo que las plantaciones de acacias sino que también mayores variaciones por hora. Lo mayores máximos de temperatura del aire, humedad relativa y temperatura del suelo fueron registrados en abril. Los resultados indican que las calidades de sitio en praderas han sido mejoradas con las actividades de rehabilitación.

Palabras claves: *Acacia auriculiformis*, *A. mangium*, plantaciones, efecto sobre suelo

¹Dept. of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea E-mail: shorea@snu.ac.kr

²Dept. of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea E-mail: leedk@plaza.snu.ac.kr

³Dept. of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul, Korea E-mail: wsy@uos.ac.kr

⁴Dept. of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea E-mail: pspark@snu.ac.kr

EFFECTS OF ACACIA PLANTATION ON TREE SPECIES COMPOSITION, SOIL PROPERTIES, MINERALIZATION AND MICROCLIMATE IN GRASSLAND OF MT. MAKILING, PHILIPPINES

SUMMARY

Rehabilitation activities improve degraded ecosystems functionally, by changing positively species composition, soil properties, mineralization and microclimate.

The study area in Mt. Makiling was rehabilitated and protected from fire for over 12 years, and changes in species composition, soil properties, mineralization and microclimate were examined. After the area was burned extensively in 1991, reforestation was done by planting *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis*. Three study sites were selected in 2003: two sites were planted with *A. mangium* and *A. auriculiformis*, and one was still dominated by *Imperata cylindrica* and *Saccharum spontaneum*.

Air temperature and relative humidity were monitored every hour for 12 months and soil temperature every 2 hours for 11 months using HOBO data loggers in Aug. 2003 – Jun. 2004. *A. auriculiformis* showed higher growth of height and DBH than those of *A. mangium* in 10-year-old plantation. However, more species appeared in *A. mangium* plantation than in *A. auriculiformis* plantation. Soil nitrogen concentrations in the *Acacia* plantations were significantly greater than those in grassland. The soil C/N ratio in grassland was significantly greater than that in *Acacia mangium* plantations. Seasonal variation in net N mineralization was pronounced, with peak values occurring in September at *Acacia* plantation site. Grassland showed not only higher air temperature, relative humidity and soil temperature than *Acacia* plantation but its larger variations per hour. Highest peak of air temperature, relative humidity and soil temperature were shown in April. The result showed that site qualities in grassland have been improved by rehabilitation activities.

Keywords: *Acacia auriculiformis*, *A. mangium*, plantations, soil properties.

INTRODUCTION

Tropical forests comprise nearly 50% of the world's forest, but during recent years they disappear at a rate of 16 million ha per year (FAO, 2001). The significance of this statistics is that large-scale deforestation occurs in most developing countries, particularly in Tropical Asia and Latin America, which show the highest loss at an annual rate of more than 1%. The main factors contributing to the degradation of the forest ecosystem are shifting cultivation, forest fire, illegal logging, and over-logging. In addition, the widespread extent of *Imperata cylindrica* makes it difficult for degraded ecosystems to be restored to their original state. To rehabilitate degraded forest ecosystems successfully, tree species that can overcome *I. cylindrica* have to be introduced. Nitrogen fixing tree species as pioneer species are recommended in grasslands because they are fast growing and are more effective in competing with *I. cylindrica* (Banerjee, 1995). Thus, *Acacia* species are planted for rehabilitation of barren land such as mining and other areas (Jim, 2001). *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* are major fast-growing plantation species used not only for pulp and timber production but also for multi-purposes in the tropical Asia Region. Their importance as plantation species can be attributed to rapid growth, rather good wood quality, and tolerance to a range of soil types and pH values (Yamamoto *et al.*, 2003).

The Philippines has a total land area of 30 million ha. Fifty-three percent of the land area, equivalent to 15.88 million ha, is considered forest lands. However, as of 1996, only 5.49 million ha of forestlands are actually covered with forest. In 1999, only 800,000 ha were primary forests (dipterocarp forests), about 2/3 of which was degraded. Most grassland ecosystems in the Philippines were formerly forested areas that have been initially converted to upland agriculture and progressively degraded by such unsustainable land use systems as shifting cultivation.

Forest soil often contains inadequate soil nitrogen levels limiting forest growth and productivity (Knoepp and Swank, 1998). Measured rates of soil mineralization, used as indices of N availability, often correlate well with site productivity and forest growth (Keeney, 1980; Knoepp and Swank, 1998; Liu and Muller, 1993). Annual net nitrogen (N) mineralization, the rate at which mineral N becomes available in the soil for uptake by plants through the decomposition of organic matter, has been shown to be an important factor limiting production in non-fertilized forest ecosystems (Nadelhoffer *et al.*, 1983; Nadelhoffer *et al.*, 1984).

The rates of net N mineralization varies with forest type, stand age, elevation, and topographic position (Garten Jr. and Van Miegroet, 1994; Garten Jr. *et al.*, 1994; Knoepp and Swank, 1998; Liu and Muller, 1993; Polgase and Attiwill, 1992; Powers, 1990). These differences are attributed to site variations in soil organic matter, temperature and soil water availability (Adams and Attiwill, 1986; Garten Jr. *et al.*, 1994; Powers, 1990). Because plants absorb nitrogen from the soil, differences in nitrogen of plant leaves resulted in the variation of soil nitrogen. Temperature and solution pH also influence relative uptake rates of NH_4^+ and NO_3^- (Barber, 1995). Also, variation of net mineralization may affect differences of nitrogen content of plant leaves. Garten Jr. and Van Miegroet (1994) examined correlations between measures of soil N availability and both mean foliar $\delta^{15}\text{N}$ values ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratio) and mean



enrichment factors ($\epsilon_{p-s} = \delta^{15}\text{N}_{\text{leaf}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{soil}}$). However, they measured net mineralization using aerobic laboratory incubation method. This method usually yields poor indices of rates of mineralization in the forest due to sampling and incubation procedures (Adams and Attiwill, 1986). In this study, estimation of mineralization was measured by using *in situ* soil incubation that is reflected in much closer natural environment (Adams and Attiwill, 1986).

The pace of natural regeneration differs by time and degraded area. Artificial regeneration has to be applied to areas that are difficult to regenerate naturally or to accelerate speed of restoration. Vegetation type, structure, and canopy closure influence the microclimate (Martius *et al.*, 2004; Raich and Tufekcioglu, 2000). The microclimate is the result of the interactions among various biological, biophysical, hydrological, and topographical factors in an ecosystem. The microclimate could be considered the 'pulse' of an ecosystem because of its direct and indirect effects on most ecosystem processes and *vice versa* (Xu *et al.*, 2004). Plant cover changes soil temperature and moisture, and these effects often differ among vegetation types (Gates, 1980), therefore, vegetation plays a critical role in shaping the microclimate through the change of energy and water balance across the landscape (Xu *et al.*, 2002).

Tree stands modify the microclimate in terms of reduced air and surface soil temperature, increased relative humidity, and reduced irradiance compared to grasslands (Dela Cruz and Luna, 1994; Luna *et al.*, 1999). The microclimate is a factor that determines the environmental conditions for forage productivity (Feldhake, 2001), crops, and soil organisms (Martius *et al.*, 2004). Knowledge of the physical and chemical properties of soil has enabled foresters to assess the capacity of sites to support productive forests. The concept of soil quality includes assessment of soil properties and processes as they relate to the ability of soil to function effectively as a component of a healthy ecosystem (Schoenholz *et al.*, 2000).

Tree species composition, soil properties, net N mineralization, and microclimate were investigated in *Acacia* species plantations. The objectives of this study were to identify the effects of 10-year *Acacia* plantation (*Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis*) on the above parameters in a former grassland area of Mt. Makiling, Philippines.

MATERIALS AND METHODS

Study Sites

Mt. Makiling Forest Reserve is located in South Central Luzon, Philippines (121°14' E, 14°08' N) and covers an area of 4,244 ha. Mt. Makiling is an isolated volcanic cone, but no eruption has been recorded in human history. The climate is tropical monsoon in character, with two pronounced seasons: wet from May to December and dry from January to April. The average annual precipitation is 2,397 mm, and the annual temperature ranges 25.5 - 27.5 °C. The dominant soil type of the area is clay loam which is derived from volcanic tuff with andesite and a basalt base (Luna *et al.*, 1999). The original vegetation surrounding the mountain base has been cleared, and the land has been cultivated. However, remnant

individuals in the ravines indicate that a dipterocarp forest zone was once present in the lowlands. The dominant dipterocarp species still in the area are *Parashorea malaanonan*, *Shorea guiso*, and *Shorea contorta*. However, the lesser presence of dipterocarp species indicated that the species has suffered heavy utilization in the past with the result that numerous non-dipterocarp tree species have now formed a species-rich secondary tropical rain forest (Dela Cruz and Luna, 1994; Luna *et al.*, 1999). The study sites are located in Sitio Kay Inglesia on the southwest slope of Mt. Makiling at 500 masl. This area had been previously cultivated and perennially burned prior to the 1990s. The last time it was burned extensively was in April 1991. To restore this fire-degraded area, *A. mangium* and *A. auriculiformis* were planted between 1993 and 1997 accompanied by intensive protection from fire.

Tree Species Composition and Growth

In 2003, three sampling sites were established in the study site, a 10-year-old *A. auriculiformis* plantation and a 10-year-old *A. mangium* plantation. A total of nine sample plots (plot size: grassland 10x10 m, *Acacia* plantations: 20x20 m) were established whose elevation ranged from 520 - 535 masl. All of the tree species with a diameter at breast height (DBH) above 5 cm were identified, and their DBH was measured along with height and crown diameter. Tree height was measured using a clinometer and a pole of fixed length using the formula below (Curtis, 1983).

All trees were marked using numbered plastic labels and were plotted on a coordinate axis. Two regeneration quadrants (2x2 m) were established in each plot, and all seedlings in the quadrant were identified and measured for root collar diameter and height.

$$H_t = h_0 \frac{(P_t - P_1)}{(P_2 - P_1)}$$

Where, H_t : height at the top of tree (m), h_0 : length of fixed-length pole (m), P_t : angle measurement to the top of tree (%), P_1 : angle measurement to the base of the tree (%), and P_2 : angle measurement to the top of the pole (%).

Soil Nutrient Analysis

Soil samples were collected at 0 - 10 cm, and the samples were sieved with a 2 mm sized mesh, air-dried, and kept in a dry place. Total C and N were determined by combustion methods (Minagawa *et al.*, 1984) using a IsoPrime- EA, micromass in the National Instrumentation Center for Environmental Management (NICEM). The cation exchange capacity (exchangeable Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , and Na^+) was determined by ICP (Inductive Coupled Plasma) emission spectrometer after leaching of <2 mm air-dry soil with 1 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ at pH 7.0 (Sparling and Schipper, 2002).



Net Mineralization

Replicate plots were established at each site. The two plots were 20 m × 20 m in size and were separated by a distance of less than 30 m. To keep soil profile, mineral soil samples (0–10 cm depth) were collected using PVC pipes with 15 cm diameter and the PVC pipes were sealed by polyethylene bags. Net N mineralization in field soils was measured by calculating the mean change over time in mineral N concentration of replicate soil samples incubated *in situ* in closed PVC pipes. Ammonium-N uptake by tree roots is assumed to be prevented by incubation in PVC pipes. Oxidation of ammonium to nitrate in the bags can be assumed not to be substantially altered in incubated soils. The pipes prevent both nitrate leaching losses and uptake of nitrate by roots. Therefore, the sum of ammonium-N plus nitrate-N accumulated in incubations must be used to calculate net N mineralization. The change in ammonium-N concentration measured in incubations is referred to as net ammonification and the change in nitrate is nitrification. Net N mineralization, net ammonification and nitrification in incubated soils are measured by subtracting the mean inorganic N concentrations of initial control soil samples, taken from the 0 – 10 cm mineral soil layer of sites at the start of an incubation period, from mean concentrations accumulated in incubated samples at end of the same period. These rates are expressed and are calculated using the following equations (Nadelhoffer *et al.*, 1984):

$$\begin{aligned} \Delta \text{NH}_4^+ - \text{N} &= \text{NH}_4^+ - \text{N}_{a(t+1)} - \text{NH}_4^+ - \text{N}_{i(t)} \\ \Delta \text{NO}_3^- - \text{N} &= \text{NO}_3^- - \text{N}_{a(t+1)} - \text{NO}_3^- - \text{N}_{i(t)} \\ \text{N}_{\text{min}} &= \Delta \text{NH}_4^+ - \text{N} + \Delta \text{NO}_3^- - \text{N} \end{aligned}$$

Where;

$\text{NH}_4^+ - \text{N}_{i(t)}$ = mean $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ content of initial, non-incubated soil samples at the start of interval t

$\text{NH}_4^+ - \text{N}_{a(t+1)}$ = mean $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ content of accumulated in incubated soil samples at the end of interval t

$\Delta \text{NH}_4^+ - \text{N}$ = net ammonification in incubation

$\text{NO}_3^- - \text{N}_{i(t)}$ = mean $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content of initial, non-incubated soil samples at the start of interval t

$\text{NO}_3^- - \text{N}_{a(t+1)}$ = mean $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content of accumulated in incubated soil samples at the end of interval t

$\Delta \text{NO}_3^- - \text{N}$ = net nitrification in incubation

N_{min} = net N mineralization in incubation

And;

All units are kg N/ha in 0-10 cm soil.

Four initial non-incubated soil samples were collected and 20 incubations were set-up in regular spacing at each plot at the start of each incubation interval. Samples in PVC pipes were buried at each plot in November 2003. Collected samples were transported with ice to the laboratory. All taken to the laboratory were processed within 24 h after arrival at the laboratory. Each sample was homogenized and 10 g subsamples were shaken with 150 ml 1N KCl for two hours. The supernatant solutions were analyzed for ammonium-N and nitrate-N. At same time ambient incubated soil was collected and analyzed for comparing amount of loss and uptake (Nadelhoffer *et al.*, 1984).

Microclimate Measurements

Monthly rainfall data (September 2002–March 2003) were collected from two nearby rain gauge stations which have different altitudes of 100 and 300 masl. Three HOBO Pro Series Data Loggers (On-set computer Corporation, Porasset, MA, USA) for monitoring air temperature and relative humidity and three soil temperature loggers (On-set computer Corporation, Porasset, MA, USA) were established in the grassland, *A. auriculiformis* and *A. mangium* sites. Soil temperature recorded at a depth of 5 cm. The data loggers for air temperature and relative humidity were established at an aboveground height of 2 m. Data were recorded at 1-h intervals for air temperature and relative humidity and at 2 h intervals for soil temperature. The mean, standard deviation, minimum and maximum of HOBO data were computed by month. To identify variations of the microclimate among sites, the mean of the absolute value of change was calculated per hour.

Data Analysis

The effect of *Acacia* plantation on mineralization, soil chemical properties, and microclimate were evaluated with ANOVA models. After each ANOVA, Least significant difference (LSD $p < 0.05$) was conducted on all parameters. All statistical analyses were undertaken using the statistical package (MINITAB, release 13.20).

RESULTS

Tree Species Composition

The relative coverage (RC) of both *Acacia* plantation areas was about 80 %. However, relative density (RD) of the *A. auriculiformis* plantation was 70 %, and this was higher than that of the *A. mangium* plantation. *Ficus septica*, as a naturally regenerated species, showed the highest values of RC and RD in both *Acacia* plantation areas. Particularly, the RBA and RD values of *F. septica* were greater in the *A. mangium* plantation than in the *A. auriculiformis* plantation. The total number of occurring species was six in the *A. mangium* plantation and three in the *A. auriculiformis* plantation. In the *A. auriculiformis* and *A. mangium* plantations, mean DBH and height were 10 cm and 8 m, and 9 cm and 5.7 m, respectively. Six tree species appeared in the grassland, but all of these had a DBH below 5 cm excluding one, *F. septica* (Table 1).

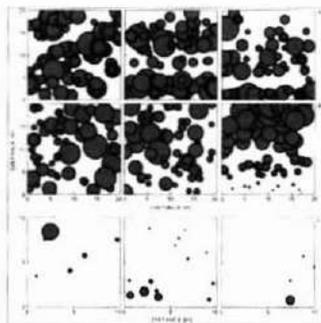


Table 1
RELATIVE DENSITY (RD) AND RELATIVE COVERAGE (RC) OF TREE SPECIES IN *Acacia auriculiformis* AND *Acacia mangium* PLANTATIONS (1)

Species	<i>A. auriculiformis</i>		<i>A. mangium</i>		Remarks
	RD [%]	RC [%]	RD [%]	RC [%]	
<i>Acacia auriculiformis</i>	69.6	82.7	-	-	Planted in 1993
<i>Acacia mangium</i>	-	-	37.6	75.2	Planted in 1993
<i>Calliandra calothyrsus</i>	0.5	0.1	17.5	6.3	Planted in 1995
<i>Gmelina arborea</i>	14.1	10.1	0.5	0.3	Planted in 1994
<i>Pterocarpus indicus</i>	4.9	1.9	2.6	1.0	Planted in 1994
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.5	0.1	1.0	0.2	Planted in 1999
<i>Syzygium nitidum</i>	-	-	1.0	0.5	Planted in 1994
<i>Fagraea fragrans</i>	-	-	3.1	2.0	Natural
<i>Ficus nota</i>	-	-	0.5	0.1	Natural
<i>Ficus septica</i>	5.4	2.0	28.4	11.4	Natural
<i>Ficus variegata</i>	-	-	0.5	0.2	Natural
<i>Gliricidia sepium</i>	0.5	1.6	-	-	Natural
<i>Leucaena leucocephala</i>	4.3	1.5	5.2	2.1	Natural
<i>Neonauclea bartlingii</i>	-	-	2.1	0.8	Natural
Stand density	1,533 trees·ha ⁻¹		1,617 trees·ha ⁻¹		
Total basal area	mean DBH [cm]		19.1 m ² ·ha ⁻¹		14.8 m ² ·ha ⁻¹
<i>Acacia</i> spp.	mean height [m]		10.3		9.2
			8.0		5.7

(1) Tree species were measured and recorded when the DBH was above 5 cm only. Most occurring tree species (*Alistonia macrophylla*, *Cratoxylum sumatranum*, *Ficus septica*, *Macaranga tanarius*, *Neonauclea bartlingii*, and *Wendlandia uvariifolia*) had a DBH below 5 cm.

Figure 1 shows the distribution of tree species in both *Acacia* plantations, and the size of the circle represents the crown diameter of the trees. *Calliandra calothyrsus* appeared in both *Acacia* plantations with more *C. calothyrsus* seedlings in the *A. auriculiformis* plantation than in the *A. mangium* plantation. Seedlings of *Diplodiscus paniculatus* showed the highest value of emergence in terms of naturally regenerated species followed by *Ervatamia pandacqui*, *Ficus congesta*, and *F. septica* in descending order (Figure 2).



The distribution of tree species in both *acacia* plantations and the size of the circle represent the crown diameter of trees

Figure 1

SPATIAL DISTRIBUTION AND CANOPY CLOSURE OF TREE SPECIES IN THE STUDY SITES *Acacia auriculiformis* (A), *Acacia mangium* (B), AND GRASSLAND (C).

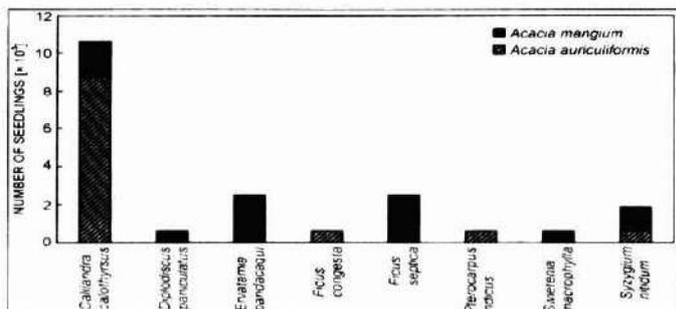


Figure 2
VARIOUS SEEDLING EMERGENCE
IN THE BOTH *Acacia mangium* AND *Acacia auriculiformis* PLANTATIONS

Nitrogen Mineralization

Seasonal net N mineralization estimates in the 0-10 cm soil were shown in Figure 3. Seasonal variation was pronounced, with peak values occurring in September at *Acacia* plantation site. During some month net N mineralization of *A. auriculiformis* was negative. And net N mineralization of grassland was negative during study period. Negative N mineralization values could result from immobilization of soil ammonium-N during periods when microbial decomposition of fresh litter was high (Nadelhoffer *et al.*, 1984). Negative N mineralization values of *Acacia* plantation showed during dry season (January). This result suggests that denitrification or volatilization could be occurred at the study site and these activities may result from high temperature (Barber, 1995; Coleman and Fry, 1991; Coleman and Crossley Jr., 1996; Jordan, 1985). Significant differences ($p < 0.05$) in both *Acacia* plantation existed during September and November.

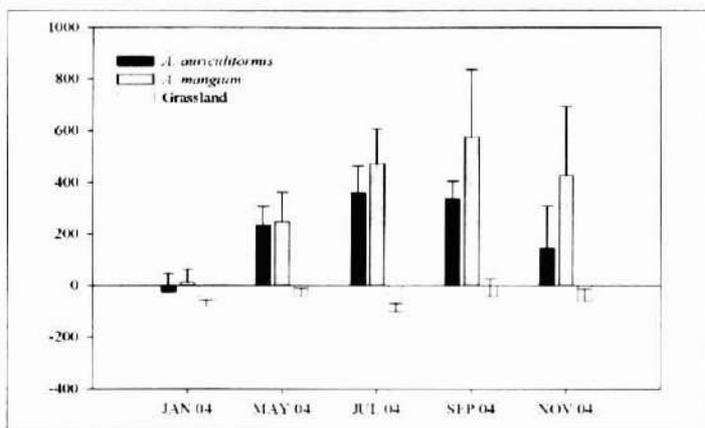


Figure 3
NET MINERALIZATION OF STUDY SITES

Net ammonification for study sites were shown in Figure 4. Net ammonification was sometimes negative. Net negative ammonification in incubations can occur when the rate of nitrification exceeds the rate at which organic N is mineralized to ammonium-N (Nadelhoffer *et al.*, 1984). Ambient soil ammonium-N was always higher than measured ammonium-N at all study sites (Figure 4). The peak of soil ammonium-N was in the month of May. Massive litterfall after dry season provide lots of organic materials to soil (Barber, 1995; Coleman and Fry, 1991; Coleman and Crossley Jr., 1996; Jordan, 1985). However, net nitrification showed positive value at *Acacia* plantation except grassland site. Grassland site always had net negative nitrification (Figure 4). This phenomenon could result from supply of little organic material, low soil pH, lack of microorganism, and high temperature (Barber, 1995; Coleman and Crossley Jr., 1996; Jordan, 1985).

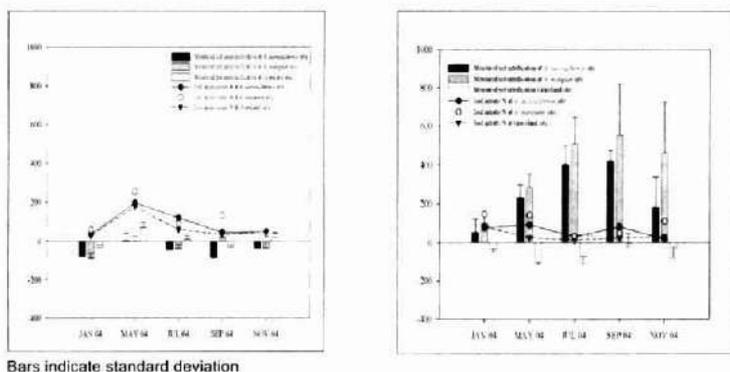


Figure 4
NET AMMONIFICATION (LEFT) AND NITRIFICATION (RIGHT) OF STUDY SITES

Soil Properties

Organic carbon concentrations were not significantly different between *A. auriculiformis* and grassland. However, *A. mangium* site showed higher value than that of grassland (Table 2). Soil nitrogen concentrations in the *Acacia* plantations were significantly greater than those in grassland (Table 2). The soil C/N ratio in grassland was significantly greater than that in *Acacia mangium* plantations. In this study, available phosphorus showed very low values as less than 3.0 mg/kg in all of the study sites (Table 2). Potassium, Sodium, Magnesium and Calcium showed that their values were higher in *Acacia* plantation than in grassland (Table 2).

Table 2
SOIL PROPERTIES OF THE STUDY SITES (MEAN ± SE)

Sites	Organic Carbon(%)	Total Nitrogen(%)	C/N ratio	Available P(mg/kg)
<i>A.auriculiformis</i>	3.90±0.35ab	0.32±0.03a	11.87±0.26b	2.60±0.24a
<i>A. mangium</i>	4.12±0.11a	0.31±0.01a	13.10±0.15ab	2.70±0.29a
Grassland	3.30±0.20b	0.24±0.01b	13.69±0.25a	2.10±0.28a

Table 2 (Continued)

Sites	K(mg/Kg)	Na(mg/Kg)	Mg(mg/Kg)	Ca(mg/kg)
<i>A.auriculiformis</i>	694.74±52.81a	51.29±6.31a	1,173.7±117.75a	3,348.4±227.46a
<i>A. mangium</i>	646.12±48.28a	47.03±3.11a	1,095.1±120.04a	3,355.3±344.32a
Grassland	187.22±20.86b	26.83±1.74b	639.0±32.87b	2071.8±39.08b

Values with same letters are not significantly different ($p < 0.05$) within a column, using Fisher's LSD test

Microclimate as an Effect Factor on Improvement of Site Quality

Total annual rainfall in 2003 was 1,811.5 mm at 100 masl and 1,769.2 mm at 300 masl. Total annual numbers of rainy days were 210 and 119 d at 100 and 300 masl, respectively (Figure 5). Thus, the amount and pattern of rainfall and number of rainy days may differ according to altitude and location. Of the total annual rainfall, about 3% (100 masl) and 4% (300 masl) fell from January to April.

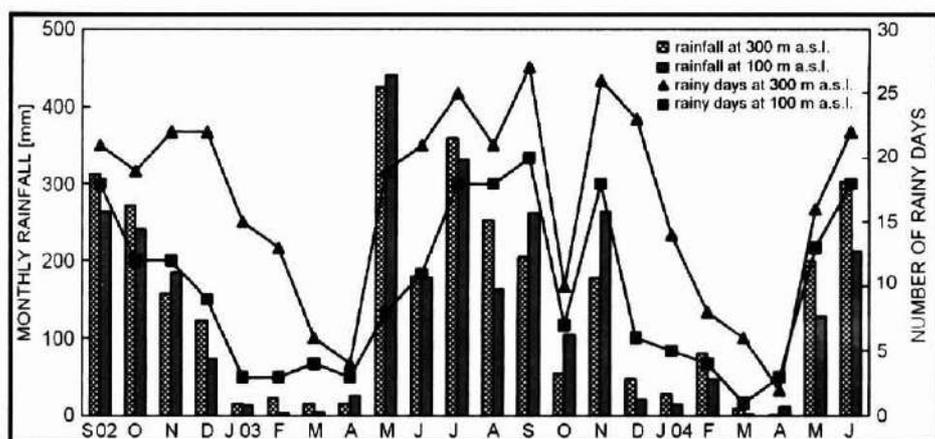


Figure 5

MONTHLY RAINFALL SEPTEMBER 2002–JUNE 2004 AT RAINFALL GAGE STATION LOCATED IN CALAMBA NEAR THE STUDY SITES AT 100 AND 300 masl

The mean air temperature in April was the highest air temperature of the sites. The annual fluctuation of air temperature was increased from December to April and was decreased after April. Grassland had both the lowest minimum air temperature and highest maximum air temperature in the study sites and exhibited a strong trend of air temperature variation (Table 3).

Table 3
MEAN AIR AND SOIL TEMPERATURES (°C) BY AREA AND BY MONTH

	Treatment	Mean air temperature±S.D.	Mean soil temperature±S.D.
Area	<i>A. auriculiformis</i> plantation	23.69±2.57 ^a	23.16±1.22 ^a
	<i>A. mangium</i> plantation	23.75±2.71 ^a	23.21±1.84 ^a
	Grassland	24.70±3.72 ^b	25.37±1.97 ^b
Month	April, 2004	26.09±3.72 ^a	26.05±2.04 ^a
	May, 2004	25.43±2.82 ^b	25.30±1.59 ^b
	October, 2003	24.23±2.58 ^c	23.69±1.52 ^d
	March, 2004	24.17±3.54 ^c	24.19±2.06 ^c
	August, 2003	24.17±2.25 ^c	24.15±0.61 ^c
	November, 2003	24.00±2.58 ^c	23.33±1.35 ^e
	June, 2004	23.72±1.92 ^e	24.28±1.30 ^e

Relative humidity could not be compared among treatments due to the loss of data from the *A. auriculiformis* plantation.

Within columns, means with the same letter are not significantly different using Tukey's mean comparison test at 0.05 level.

The relative humidity of the grassland was higher than that of the *A. mangium* plantation; however, this parameter exhibited a trend similar to air temperature where variation in the grassland was larger than in the *Acacia* plantation (Data not shown). This indicates that the large variation of air temperature produced morning and night dew on the humidity sensor of HOBO. Soil temperature in the grassland showed a higher value than the *Acacia* plantation, and the highest soil temperature was in April. Soil temperature also showed a trend similar to air temperature (Figure 6 Right). Change of air temperature per hour and relative humidity per hour values were larger in the grassland than the *Acacia* plantations. In the grassland, air temperature changed 0.8°C per h, which was about two times the change of air temperature per h in the *Acacia* plantations (Figure 6 Left). However, the change of soil temperature was not significant among the sites. Table 8 shows the results of ANOVA for air and soil temperature among the sites and by month. Differences in air and soil temperature were statistically significant between grassland and the *Acacia* plantations. April and May, the dry and hot season in the Philippines, showed the highest values of air and soil temperature (Table 3). Soil temperature was strongly correlated with air temperature, and r^2 was 0.91 (Figure 6 Right). This result indicates that soil temperature can be estimated using air temperature at this study site.

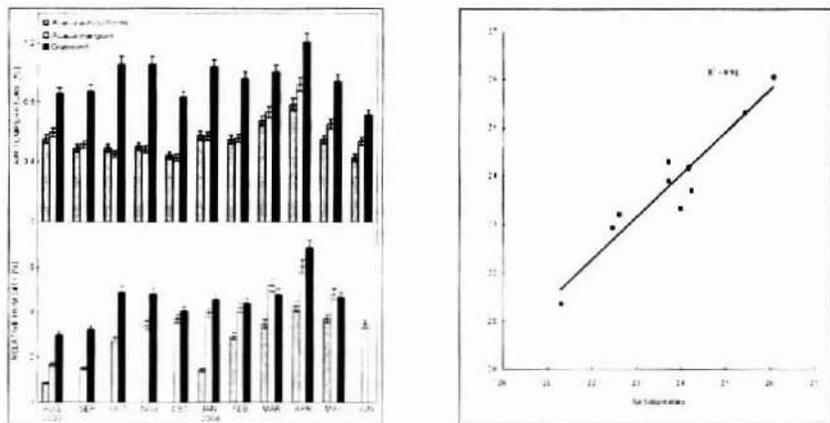


Figure 6
 VARIATIONS OF AIR TEMPERATURE & RELATIVE HUMIDITY PER HOUR BY MONTH (LEFT)
 AND RELATION BETWEEN AIR TEMPERATURE AND SOIL TEMPERATURE AT ALL SITES (RIGHT)

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The findings in this study showed that *Acacia* plantation improved site qualities such as soil properties, nutrient cycling, and microclimate. Otha (1990b) reported that soil of grasslands is poor in nutrients, more compact, and has more limited soil fauna compared to natural rainforest stands. Otha (1990a) also found that soil physical properties that were improved by afforestation include bulk density and porosity although the effects were limited to the thin superficial soil layer (0-5 cm).

The study also gave a brief account on soil physical and chemical properties in grassland and in plantation. A young tree plantation not only provides control of soil moisture evaporation but improves soil physical properties as indicated by increased bulk density and total pore space distribution. However, while the acidity of grassland was found to be alleviated, plantation soils had lower pHs partly due to increased production of organic acids associated with accelerated organic matter decomposition. In the study, total C and total N contents decreased significantly with afforestation which is a common phenomena in the tropical monsoon zone. Litterfall data suggest that litterfall of *Acacia* sites affected net mineralization of plantation sites and site qualities.

Several researches reported that net primary production (NPP) such as litterfall production improved nutrient cycling particularly net mineralization (Bridgham *et al.*, 1998; Fassnacht and Gower, 1999; Pastor and Bockheim, 1984; Pastor *et al.*, 1984; Reich *et al.*, 1997; Vitousek and Sanford, 1986; Vitousek and Howarth, 1991; Vitousek *et al.*, 1993). Pastor *et al.* (1984) reported a strong relationship between net litter production and net mineralization for six forest ecosystems occurring along a natural N-availability gradient in

southern Wisconsin. Reich *et al.* (1997) showed that aboveground net primary production (ANPP) and N mineralization differ more strongly with soil type/parent material than with forest type. Ellsworth and Reich (1996) reported that early successional species showed strong photosynthesis - N content of leaf relationship in Amazonian tree species. That is why pioneer species such as *Acacia* species need to be planted in degraded area to compete with grasses.

Seasonal variation in net mineralization was pronounced within site and *Acacia* plantation sites showed higher value of net mineralization than that of grassland (Figure 3). Grassland showed negative value during incubation period. These negative values could be caused by high denitrification losses of nitrate during the study period. Denitrification was affected by soil temperature, pH, and aeration (Barber, 1995). In study sites, grassland showed higher air temperature and soil temperature than those of *Acacia* plantation sites (Tables 3). Also, variation of air and soil temperature was bigger in grassland than in *Acacia* plantation sites (Figure 6).

These results suggest that microclimate affected net mineralization in the study sites. The microclimate data suggest that planting of pioneer tree species in degraded areas such as grassland, where there are no mature forests as a seed source, improves regeneration, air temperature, soil temperature, and relative humidity. In the study sites, the *A. auriculiformis* plantation had a fewer number of naturally regenerated species than the *A. mangium* plantation. This was due mostly to a higher canopy coverage rate (Figure 1) and a thicker litter layer, and slower decomposition rate. The *Acacia* plantation sites had less variation per hour of both air temperature and relative humidity, while the grassland had the highest maximum and minimum values of both air and soil temperature. Thus, introduction of tree species to grassland stabilizes the microclimate and accelerates natural regeneration and growth of seedlings.

After forest degradation, natural succession might eventually occur enabling the forest to recover by itself. However, as Lamb (1998) emphasized, the return to a mature forest or original forest could take a long time even if no further disturbances take place and sufficient residual forest remains nearby to act as a source of plants and animals. Lamb (1998) also mentioned that plantation species would limit soil erosion and aid nutrient cycling. In the previous study of Jang *et al.* (2004), it was shown that total nitrogen content and available phosphorus were significantly higher in the plantation areas. These results indicate that *Acacia* planting affected the natural regeneration process and development of invasive seedlings. The *A. mangium* plantation had more naturally regenerated species than the *A. auriculiformis* plantation (Table 1). Lugo *et al.* (1993) reported that there is little difference in understory development beneath different plantation species, while others have found significant differences between species (Fimbel and Fimbel, 1996; Keenan *et al.*, 1997; Kuusipalo *et al.*, 1995; Parrotta, 1995). Forest soil often contains inadequate soil N levels, limiting forest growth and productivity (Knoepp and Swank, 1998). In the current study sites, the total N content in grassland was 0.15% while the *Acacia* plantations measured above 2%. A total N concentration below 0.2% hampers plant growth (Jim, 2001); therefore, this result could explain why tree species are difficult to invade and develop their seedlings in grassland.

Several values of soil chemical properties were higher in the *Acacia* plantation than in

the grassland (Table 2). These results suggest that *Acacia* plantation is capable of improving soil qualities. The identification of enzyme activities in conjunction with soil respiration and composition of the soil microflora provides the most reliable index of microbial activity in soil (Casida, 1977). Arunachalam *et al.* (1999) reported that dehydrogenase activity was higher in a 4-year-old alder plantation than in natural grassland and that dehydrogenase activity increased with increasing stand age in the forest re-growths. Figure 1 shows that the *Acacia* plantations had larger plant cover than the grassland. This indicates that the *Acacia* plantations produce a greater amount of litter than that of grassland. In conjunction with another study (Maithani *et al.*, 1996), results of this study suggest that increasing the plant cover, which produced a greater amount of litter, improved the soil nutrient pool.

Microclimate factors were significantly different between the *Acacia* plantations and the grassland. Grassland had the highest maximum and lowest minimum temperatures in both air and soil. Vegetation plays a critical role in shaping the microclimate through the change of energy and water balance across the landscape (Xu *et al.*, 2002). Tree leaves protect against fluctuation of temperature through evaporation cooling or shading (Kimmins, 1996). Air temperature affects growth and development of woody plants directly by inducing injury and indirectly by influencing physiological processes and yield and quality of fruits and seeds (Kozłowski and Pallardy, 1997). This may explain why tree species composition and development of seedlings differ between the *Acacia* plantation areas and grassland. From the regression analysis, soil temperature was significantly correlated with air temperature (Figure 6 Right), and soil temperature was improved in the *Acacia* plantations compared to the grassland. Barber (1995) reported that the soil's physical and chemical properties as well as irradiance and soil temperature affect root growth which, in turn, affects nutrient uptake.

The variation rate per hour of microclimate factors were calculated (air temperature and relative humidity). Kimmins (1996) reported that the rate of temperature change is sometimes more important than the actual temperature. Grassland showed the highest values of both air temperature and relative humidity. Particularly, the variation rate was high during the dry season (Figure 6 Left). Additionally, the *Acacia* plantations played an important role as windbreaks for the regenerated tree species inside the study site. Benzarti (1999) reported that a tree windbreak allows increased water use efficiency of *Medicago sativa* inside the windbreak and decreases air temperature in the study site.

In conclusion, the *Acacia* plantations had a greater number of naturally regenerated species than grassland, and this showed that invasive tree species developed their growth and coverage. In the grassland, a total of six species (*Alstonia macrophylla*, *Cratogeomys sumatranum*, *F. septica*, *Macaranga tanarius*, *Neonauclea bartlingii*, and *Wendlandia uvariifolia*) were found. However, all species had DBH values below 5 cm except *F. septica* indicating more recent establishment and slower growth. Planting *Acacia* improved site qualities (canopy coverage, litterfall, decomposition, soil properties, and soil enzyme activity) and microclimate factors (air temperature, soil temperature, and relative humidity) and decreased the variation rate of these factors in the study sites.



Therefore, this study suggests that this type of plantation is efficient in accelerating regeneration of tree species and improving site qualities (microclimate, soil condition, etc.) However, in the longer term larger individuals may begin competing with the over-story plantation species for soil resources (Lamb, 1998). These matters could be solved by technical management such as thinning. As restoration indices, species diversity, net mineralization, soil nutrient, soil C/N ratio, soil enzyme activity, and microclimate can be used for evaluation parameters in the young stage of restoration of degraded tropical region in Kay Inglesia, Mt. Makiling.

REFERENCES

- Adams, M.A., and P.M. Attiwill. 1986.** Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests of south-eastern Australia. *Plant and soil* 92:341-362.
- Arunachalam, K., A. Arunachalam, and N.P. Melkania. 1999.** Influence of soil properties on microbial populations, activity and biomass in humid subtropical mountainous ecosystems of India. *Biol. Fertil. Soils.* 30:217-223.
- Banerjee, A.K. 1995.** Rehabilitation of Degraded Forests in Asia World Bank, New York
- Barber, S.A. 1995.** Soil Nutrient Bioavailability. - A Mechanistic Approach- John Wiley and Sons, New York.
- Benzarti, J. 1999.** Temperature and water-use efficiency by lucerne (*Medicago sativa*) sheltered by a tree windbreak in Tunisia. *Agrofor. Syst.* 43:95-108.
- Bridgham, S.D., K. Updegraff, and J.P. Pastor. 1998.** Carbon, nitrogen, and phosphorus mineralization in Northern Wetlands. *Ecology* 79:1545-1561.
- Casida, L.E. 1977.** Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. *Appl. Environ. Microbiol.* 34:630-636.
- Coleman, D.C., and B. Fry. 1991.** Carbon Isotope Techniques Academic Press, San Diego – New York – Boston – London – Sydney – Tokyo – Toronto.
- Coleman, D.C., and D.A. Crossley Jr. 1996.** Fundamentals of Soil Ecology Academic Press, San Diego-New York-Boston-London-Sydney-Tokyo-Toronto.
- Curtis, R.O. 1983.** Procedures for Establishing and Maintaining Permanent Plots for Silvicultural and Yield Research General Technical Report PNW-155. USDA Forest Service.
- Dela Cruz, L.U., and A.C. Luna. 1994.** Effects of *Acacia auriculiformis* and *Gmelina arborea* on soil and microclimate of a degraded grassland in Nueva Ecija, Philippines. JIRCAS International Symposium Series 1:46-54.
- Ellsworth, D.S., and P.B. Reich. 1996.** Photosynthesis and leaf nitrogen in five Amazonian tree species during early secondary succession. *Ecology* 77:581-594.
- FAO. 2001.** State of The World's Forest Words and Publications, Oxford

- Fassnacht, K.S., and S.T. Gower. 1999. Comparison of the litterfall and forest floor organic matter and nitrogen dynamics of upland forest ecosystems in north central Wisconsin. *Biogeochemistry* 45:265-284.
- Feldhake, C.M. 2001. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. *Agrofor. Syst.* 53:297-303.
- Fimbel, R.A., and C.C. Fimbel. 1996. The role of exotic conifer plantations in rehabilitating degraded tropical forest lands: a case study from the Kiable Forest in Uganda. *For. Ecol. Manage.* 81:215-226.
- Garten Jr., C.T., and H. Van Miegroet. 1994. Relationships between soil nitrogen dynamics and natural ¹⁵N abundance in plant foliage from Great Smoky Mountains National Park. *Can. J. For. Res.* 24:1636-1645.
- Garten Jr., C.T., M.A. Huston, and C.A. Thoms. 1994. Topographic variation of soil nitrogen dynamics at Walker Branch Watershed, Tennessee. *Forest Science* 40:497-512.
- Gates, D.M. 1980. *Biophysical Ecology* Springer - verlag, New York.
- Jang, Y.H., D.K. Lee, Y.K. Lee, S.Y. Woo, and E.R.G. Abraham. 2004. Effects of *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* plantation on soil properties of the forest area degraded by forest fire in Mt. Makiling, Philippines. *J. Kor. For. Soc.* 93:315-324.
- Jim, C.Y. 2001. Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong. *Rest. Ecol.* 9:85-94.
- Jordan, C.F. 1985. *Nutrient cycling in tropical forest ecosystems* John Wiley & Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore.
- Keenan, R., D. Lamb, O. Woldring, A. Irvine, and R. Jensen. 1997. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tress plantations in northern Australia. *For. Ecol. Manage.* 99:117-132.
- Keeney, D.R. 1980. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: A literature review. *Forest Science* 26:159-171.
- Kimmins, J.P. 1996. *Forest Ecology* Simon and Schuster, New York.
- Knoepp, J.D., and W.T. Swank. 1998. Rates of nitrogen mineralization across an elevation and vegetation gradient in the southern Appalachians. *Plant Soil*:235-241.
- Kozłowski, T.T., and S.G. Pallardy. 1997. *Physiology of Woody Plants* Academic Press, San Diego - London - Boston - New York - Sydney - Tokyo - Toronto.
- Kuusipalo, J., G. Adjers, Y. Jarfarsidik, O. Antii, K. Tuomela, and R. Voukko. 1995. Restoration of natural vegetation in degraded *Imperata cylindrica* grassland: understory development in forest plantations. *J. Veget. Sci.* 6:205-210.
- Lamb, D. 1998. Large-scale ecological restoration of degraded tropical forest lands: The potential role of timber plantation. *Rest. Ecol.* 6:271-279.
- Liu, Y., and R.N. Muller. 1993. Above-ground net primary productivity and nitrogen mineralization in a mixed meophytic forest of eastern Kentucky. *For. Ecol. Manage.* 59:53-62.



- Lugo, A.E., J.A. Parrota, and S. Brown. 1993.** Loss in species caused by tropical deforestation and their recovery through management. *Ambio*. 22:106-109.
- Luna, A.C., K. Osumi, A.F. Gascon, R.D. Lasco, A.M. Palijon, and M.L. Castillo. 1999.** The community structure of a logged-over tropical rain forest in Mt. Makiling forest reserve, Philippines. *J. Trop. For. Sci.* 11:446-458.
- Maithani, K., R.S. Tripathi, A. Arunachalam, and H.N. Pandey. 1996.** Seasonal dynamics of microbial C, N and P during regrowth of a disturbed subtropical humid forest in north-east India. *Appl. Soil Ecol.* 4:31-37.
- Martius, C., H. Höfer, M.V.B. Garcia, J. Römbke, B. Förster, and W. Hanagarth. 2004.** Microclimate in agroforestry systems in central Amazonia: does canopy closure matter to soil organisms? *Agrofor. Syst.* 60:291-304.
- Minagawa, M., D.A. Winter, and I.R. Kaplan. 1984.** Comparison of Kjeldahl and combustion methods for measurement of nitrogen isotope ratios in organic matter. *Anal. Chem.* 56:1859-1861.
- Nadelhoffer, K.J., J.D. Aber, and J.M. Melillo. 1983.** Leaf-litter production and soil organic matter dynamics along a nitrogen-availability gradient in southern Wisconsin(U.S.A.). *Can. J. For. Res.* 13:12-21.
- Nadelhoffer, K.J., J.D. Aber, and J.M. Melillo. 1984.** Seasonal patterns of ammonium and nitrate uptake in nine temperate forest ecosystems. *Plant Soil* 80:321-335.
- Otha, S. 1990a.** Initial soil changes associated with afforestation with *Acacia auriculiformis* and *Pinus kesiya* on denuded grasslands of the Pantabangan area, Central Luzon, the Philippines. *Soil Science and Plant Nutrition* 36:663-643.
- Otha, S. 1990b.** Influence of deforestation on the soils of the Pantabangan area, Central Luzon, the Philippines. *Soil Science and Plant Nutrition* 36:561-573.
- Parrota, J.A. 1995.** Influence of overstorey competition on understorey colonization by native species in plantation on a degraded tropical site. *J. Veget. Sci.* 6:627-636.
- Pastor, J.P., and J.G. Bockheim. 1984.** Distribution and cycling of nutrients in an aspen-mixed-hardwood-spodosol ecosystem in Northern Wisconsin. *Ecology* 65:339-353.
- Pastor, J.P., J.D. Aber, C.A. McCaugherty, and J.M. Melillo. 1984.** Aboveground production and N and P cycling along a nitrogen mineralization gradient on Blackhawk Island, Wisconsin. *Ecology* 65:256-268.
- Polgase, P.J., and P.M. Attiwill. 1992.** Nitrogen and phosphorus cycling in relation to stand age of *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Plant and soil* 142:157-166.
- Powers, R.F. 1990.** Nitrogen mineralization along an altitudinal gradient: interactions of soil temperature, moisture, and substrate quality. *For. Ecol. Manage.* 30:19-29.
- Raich, J., and A. Tufekcioglu. 2000.** Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry* 48:71-90.
- Reich, P.B., D.F. Grigal, J.D. Aber, and S.T. Gower. 1997.** Nitrogen mineralization and productivity in 50 hardwood and conifer stands on diverse soils. *Ecology* 78.

- Schoenholz, S.H., H. Van Miegroet, and J.A. Burger. 2000.** A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *For. Ecol. Manage.* 138:335-356.
- Sparling, G.P., and L.A. Schipper. 2002.** Soil quality at a national scale in New Zealand. *J. Environ. Qual.* 31:1848-1857.
- Vitousek, P.M., and R.L. Sanford. 1986.** Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:137-167.
- Vitousek, P.M., and R.W. Howarth. 1991.** Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry* 13:87-115.
- Vitousek, P.M., L.R. Walker, L.D. Whiteaker, and P.A. Matson. 1993.** Nutrient limitations to plant growth during primary succession in Hawaii volcanoes national park. *Biogeochemistry* 23:197-215.
- Xu, M., J. Chen, and Y. Qi. 2002.** Growing-season temperature and soil moisture along a 10km transect across a forested landscape. *Climate Res.* 22:57-72.
- Xu, X., Y. Qi, J. Chen, and B. Song. 2004.** Scale-dependent relationships between landscape structure and microclimate. *Plant Ecol.* 173:39-57.
- Yamamoto, K., O. Sulaiman, C. Kitingan, L.W. Choon, and N.T. Nhan. 2003.** Moisture distribution in stems of *Acacia mangium*, *A. auriculiformis* and hybrid *Acacia* trees. *Jap. Agr. Res. Quart.* 37:207-212.



IMPROVED PROSPECTS FOR THE DOMESTICATION OF *Acacia saligna* IN REGION DE COQUIMBO, CHILE

M.W. McDonald¹, R. Mazanec², J.R. Bartle² and B.R. Maslin²

SUMMARY

Acacia saligna (Labill.) H. Wendl., a nitrogen-fixing shrub or small tree endemic to the south west of Western Australia, is being cultivated for site remediation and stock fodder in Region de Coquimbo of Chile. The paper makes a review of the work which has the potential to improve domestication outcomes involving this species. A recent study has recognised that *A. saligna* comprises five subspecies that differ in subtle morphological traits and have natural distributions that largely occupy different bioregions. The subspecies show differences in economically important traits including climate profiles, habit, biomass potential, coppicing ability and root suckering propensity. Preliminary results from research trials in Western Australia have implications for the domestication potential of these taxa as short-rotation coppice crops. Of the five subspecies only one currently is being widely cultivated in Region de Coquimbo.

Palabras claves: *Acacia saligna*, domesticación

RESUMEN

Acacia saligna (Labill.) H. Wendl. Es un arbusto o pequeño árbol, fijador de nitrógeno, nativo y endémico del sur oeste de Western Australia. Es cultivado en la Región de Coquimbo, Chile, para forraje y mejoramiento de suelos. Este artículo revisa el trabajo necesario para mejorar los logros en la domesticación de esta especie. Un estudio reciente ha reconocido que *A saligna* comprende cinco subspecies que difieren sutilmente en rasgos morfológicos y tienen una distribución natural que ocupa marcadamente diferentes subregiones. Las subspecies muestran diferencias en aspectos que son económicamente importantes en materia de clima, hábitos, biomasa potencial, habilidad de rebrotar desde cepas y tendencia a emitir brotes de raíces. Resultados preliminares en ensayos en Western Australia tienen relación con el potencial de domesticación de esta especie como cultivos de corta rotación en monte bajo. De las cinco subspecies, sólo una está siendo ampliamente empleada en la Región de Coquimbo.

Palabras claves: *Acacia saligna*, domestication

¹ Ensis, CSIRO Centre for Environment and Life Sciences, PO Box 5, Wembley, WA 6913; email:maurice.mcdonald@ensisyv.com

² Department of Environment and Conservation, Locked Bag 104, Bentley Delivery Centre, Western Australia, 6983, Australia; email: john.bartle@dec.wa.gov.au

INTRODUCTION

Over the past decade, there has been considerable interest in the domestication of *Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl. in dryland parts of Chile. Endemic to the south west Western Australia, this shrub or small tree is grown for site remediation and as a source of fodder for stock in Región de Coquimbo (approx. 30–32°S). Approximately 12,000 ha have been established, and its performance to date has created interest in its potential as a source of woody biomass for bioenergy production and other industrial-scale uses such as its seeds as a source of feedstock for fish farming. The increasing use of this species as a sustainable source of biomass in a 100 - 250 mm rainfall region is due to its ease of establishment, relatively fast growth and robust coppicing ability. Further domestication of *A. saligna* in Region de Coquimbo has been given high a priority by local Government authorities such as INFOR (Chilean Institute of Forestry) and CONAF (The National Forest Corporation).

A recent study of the natural genetic resources of this species has revealed that morphological variation in this species has a taxonomic basis (McDonald and Maslin in prep.). This study will have important implications for future domestication research on *A. saligna*, as five subspecies will be formally recognised, viz. subsp. *lindleyi*, subsp. *pruinescens*, subsp. *saligna*, subsp. *stolonifera* and subsp. "*Cantabilling*" (manuscript names). These taxa demonstrate subtle, variable and temporal morphological differences, and their distributions largely show a geographic replacement pattern across a number of natural bioregions.

The Revegetation Systems Unit of the Department of Environment and Conservation in Western Australia have established numerous trials assessing the potential of these taxa as short-rotation coppice crops for biomass production, to help remediate dryland salinity in the cropping area of south west Western Australia (Hobbs *et al.* 2006). This work will significantly refine the domestication potential of these subspecies. A brief summary of these activities are presented here. It will be particularly relevant for domestication efforts of this species in Chile as only one of the five subspecies is currently being cultivated in Region de Coquimbo.

THE REVISED GENETIC RESOURCES OF *Acacia saligna*

As noted by Maslin and Mc Donald (2004) differences in growth form, biomass production, suckering propensity and fodder value are evident among the newly recognized subspecies. Preliminary results based on field trials and findings from a genetic study have validated the recognition of the five subspecies (ref for field trials; George *et al.* 2006). To provide background, a brief outline of the five subspecies is given below.

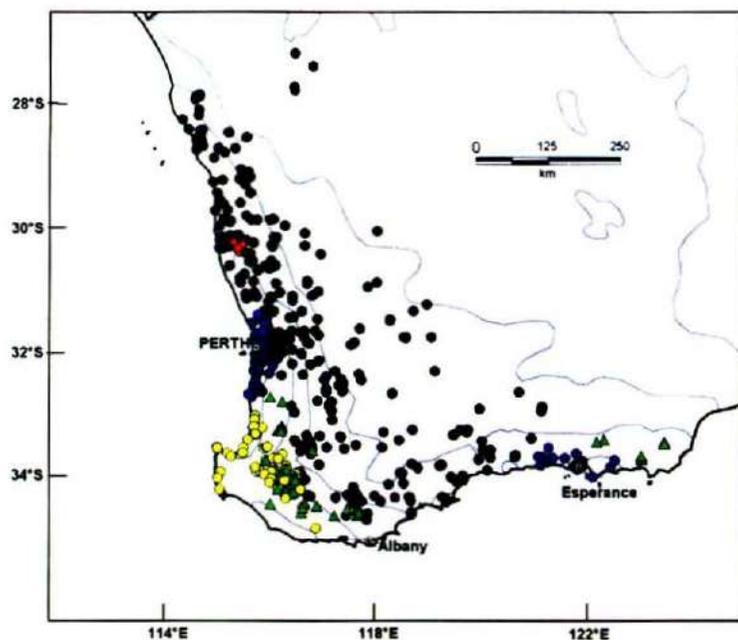
Natural Distribution and Habitat

All five subspecies of *A. saligna* are endemic to southwest Western Australia, and occur in a winter rainfall zone, across a wide rainfall gradient and in a number of bioregions (Fig. 1). These regions range from tall open forests in coastal and subcoastal areas of the 1000 - 1200 mm rainfall zone, to as far inland as the 200 - 250 rainfall isohyet where semi-arid shrublands predominate. The dry season in this region extends for 6–8 months of the year. Climate profiles for the five subspecies, based on data from their natural distribution,

are shown in Table 1. The taxa have distributions that often comprise localised populations that are usually restricted to depositional sites throughout their natural distributions. They tend to favour sites where soil water is supplemented by run-on events from rainfall.

Table 1
CLIMATE PROFILES FOR THE SUBSPECIES BASED ON DATA FROM THEIR NATURAL DISTRIBUTIONS

Taxon	Altitudinal range (m)	Mean max. hottest month	Mean min. coldest month	Lowest temp. recorded	Mean annual temp.	Mean annual rainfall (mm)
<i>lindleyi</i>	100–350	28–39°C	5–9°C	–5°C	15–21°C	250–650
<i>pruinescens</i>	80–420	26–30°C	4–9°C	–2°C	15–18°C	350–1200
<i>saligna</i>	0–90	26–33°C	7–10°C	0°C	15–21°C	600–900
<i>stolonifera</i>	5–300	27–30°C	6–8°C	–4°C	15–18°C	800–1200
" <i>Cantabilling</i> "	±300	36°C	9°C	0°C	18–21°C	±500



subsp. *lindleyi*
subsp. *pruinescens*
subsp. *saligna*

black dot
green triangle
blue dot

subsp. *stolonifera* yellow dot
subsp. "*Cantabilling*" red diamond
(rainfall isohyets approximate)

Figure 1
NATURAL DISTRIBUTION OF THE SUBSPECIES

Subsp. *lindleyi*: natural stands of this taxon are the most widely dispersed, extending across the 250-650 mm rainfall zone in the wheat cropping area of south west Western Australia. It is displaced by its sister taxa (*saligna*, *pruinescens* and *stolonifera*) in the wetter south western extent of its range. Subsp. *lindleyi* extends the furthest inland where the hottest and driest conditions prevail. The habitat of subsp. *lindleyi* includes the base of granite rock outcrops, along seasonal creeks and rivers and on the fringes of salt lakes.

Subsp. *pruinescens*: this taxon has a widely disjunct distribution in southwest Western Australia where it occurs in two main regions separated by a distance of about 400 km. Its western occurrences are mainly in the forested 700–1000 mm mean annual rainfall zone, while the eastern disjunction is in a 350–650 mm mean rainfall zone near Esperance. Subsp. *pruinescens* is sympatric and forms hybrids with subsp. *stolonifera* in some higher rainfall areas of its distribution. The habitat of subsp. *pruinescens* is in proximity to diffuse drainage flats, rivers, seasonal creeks, swamps and lakes, except in the Esperance region, where it occurs near the base of granite rock outcrops.

Subsp. *saligna*: like subsp. *pruinescens*, natural populations of subsp. *saligna* also have a widely disjunct distribution in southwest Western Australia. They are restricted to coastal and subcoastal areas on the Swan Coastal Plain near Perth and to coastal and subcoastal sand plains in the Esperance region, about 600 km south east of Perth. The habitat of subspecies *saligna* is near swamps and seasonal creeks, on floodplains, along riverbanks and estuaries, near freshwater lakes, sand dune swales and the leeward side of coastal dunes.

Based on observations from a recent field trip to Región de Coquimbo, subsp. *saligna* is seemingly absent from any plantings in this region. This should be a cause for concern among local growers as based on observations from both natural populations and from cultivated stands, subsp. *saligna* produces the most biomass of the five subspecies and appears the fastest growing. Like subsp. *pruinescens*, it also has good coppicing ability, based on observations from natural stands.

Subsp. *stolonifera*: this taxon has the most south westerly distribution in the forested 800–1000 mm mean annual rainfall zone of south west Western Australia. Its habitat is also along watercourses, near swampy or low lying areas, along roadsides and on coastal plains and sand dunes. Populations near watercourses sometimes extend upslope to nearby low hills. As its epithet suggests, subsp. *stolonifera* has a propensity for aggressive root suckering. But despite its aggressive root sucking ability its coppicing ability appears to be weak, based on observations from natural stands.

Like subsp. *saligna*, subsp. *stolonifera* does not yet appear to have been cultivated in Región de Coquimbo. Based on observations from natural stands it appears to have poor coppicing ability, which could limit the potential of this subspecies, but this needs to be confirmed in coppicing trials.

Subsp. "Cantabilling": is currently only known from a relatively restricted area an agricultural region north of Perth. It appears to be a short-lived taxon (only a 2–3 year life-span) and develops a spindly habit with very low levels of biomass.

This subspecies has limited potential for biomass production in Chile. Further information on its status will be presented in McDonald and Maslin (in prep.).

Despite this preference for water-gaining sites in their natural habitat outlined above, the adaptability of these subspecies to wide range of recharge sites has been demonstrated by their use and spread as an exotic in many parts of the world. Subsp. *saligna*, and to a less extent subsp. *lindleyi*, have become naturalised in parts of eastern Australia (south-eastern Queensland, coastal New South Wales, Victoria, Tasmania and South Australia). Plantings in numerous countries overseas, where they were introduced for site remediation, firewood and as a source of stock fodder, are also certain to be attributable to these two subspecies, and also subsp. *pruinescens* in some areas. In some instances, they have become notorious weeds, e.g., subsp. *lindleyi* in South Africa.

Morphology

A combination of some key phyllode and inflorescence traits distinguish the newly recognised subspecies of *A. saligna* (Table 2). There are numerous other, often subtle morphological differences that differ among taxa (e.g. flower head colour, resting inflorescence bud size and shape). These are fully documented in McDonald and Maslin (in prep.).

As would be expected from its wide geographic distribution, subsp. *lindleyi* is the most morphologically variable of the subspecies. It exhibits high levels of morphological variation within and among populations. For example, populations in the north of its range have glossier phyllodes compared to other parts of its range. Variation in habit in this subspecies will be of particular concern for domestication programs wishing to assess potential levels of biomass production based on natural populations. Subsp. *lindleyi* ranges from being a low shrub, less than 2 m tall in many areas in the north of its range, to being an arborescent tree up to 8 m tall in occurrences near the base of granite rock outcrops in the south of its range. By contrast, the other four taxa do not tend to exhibit this wide range in within and among population variation. Variation in its coppicing ability and root suckering propensity is currently poorly understood.

A good example of differences in the general appearance of subsp. *pruinescens* and subsp. *lindleyi*, was demonstrated in an INFOR trial established in 1999 near Tongoy, in the northern part of Region de Coquimbo (Fig. 2). These were the only two subspecies represented in the Tongoy trial with subsp. *lindleyi* being well represented by 12 provenances, while subsp. *pruinescens* had only two provenances represented (Boyatup Hill, Lake Muir).



Table 2
SOME OF THE MAIN MORPHOLOGICAL DIFFERENCES THAT DISTINGUISH THE
NEWLY RECOGNISED SUBSPECIES OF *A. saligna*

Taxon	Habit	Phyllodes	Inflorescences
<i>lindleyi</i>	low or large shrub 2–5 m tall, or small tree up to 8 m tall with dbh to c. 30 cm; root suckering variable among populations; coppicing ability poor	slightly shiny or glossy phyllodes at all phases	mostly 5-headed racemes, flower heads 1.2–1.3 cm in diameter
<i>pruinescens</i>	a single-stemmed, small tree, 3–8 m tall with a dbh to 35 cm on oldest trees, with a spreading crown of bluish foliage; root suckering ability profuse in some populations; coppicing ability usually good	dull, lightly pruinose phyllodes at all phases	7–8-headed racemes, flower heads 1.4 cm in diameter
<i>saligna</i>	densely-foliaged, spreading shrub or small tree to 10 m tall, with a dbh to 40–50 cm on oldest trees; root suckering usually absent; coppicing ability usually good	adult phyllodes have a distinctly long attenuated base	7–8-headed racemes, flower heads 1.7–1.8 cm in diameter
<i>stolonifera</i>	shrub or small tree 3–8 (–10) m tall, with a dbh to 35 cm on oldest trees; often forming dense clumps derived from root suckers; coppicing ability poor	long, narrowly oblong, green adolescent phyllodes	5-headed racemes, flower heads 1.7–1.8 cm in diameter
" <i>Cantabilling</i> "	short-lived shrub, 1–2 m tall; root suckering absent; coppicing ability absent	long, linear phyllodes at all phases	mostly 7-headed racemes, flower heads 1.2–1.4 cm in diameter



Figure 2

Acacia saligna subsp. *lindleyi* (A AND B TOP) AND *A. saligna* subsp. *pruinescens* (C AND D, BOTTOM) SHOWING DIFFERENCES IN THE GENERAL APPEARANCE OF THE TWO TAXA AT AGE 7 YEARS. THE TRIAL HAD 2 X 3 M SPACINGS AND WAS ESTABLISHED BY INFOR IN 1999 NEAR TONGOY, REGION DE COQUIMBO, CHILE.

AN OVERVIEW OF WORK UNDERWAY ON *Acacia saligna* IN WESTERN AUSTRALIA

During the 1990s good progress was made in the domestication of mallee eucalypts (Bartle et al 2007). This led to the question of whether there might be other potentially useful crop species in the WA native flora (comprising 9979 species). A systematic assessment of the flora was undertaken based on both potential ease of domestication and on potential commercial values (Olsen et al 2004). This investigation identified the *Acacia saligna* group as highly prospective for domestication.

The first step in domestication was to clarify the taxonomic status of the species and this was the motivation for the work referred to above. With a clear understanding of the taxonomy it was possible to undertake systematic collection of seed from across the range of the four main subspecies. The collection consists of 20 families from each of 20 provenances (12 from subsp. *lindleyi*, 4 from subsp. *saligna*, 2 from subsp. *pruinescens*, and 2 from subsp. *stolonifera*). These collections were used to establish progeny experiments in winter 2006 at two widely separated locations across the range of natural occurrence of *A. saligna*. Each progeny experiment consists of nine replications of most of the 400 families in 4-tree plots to give a total planted population of more than 28,000. Assessment of performance in the progeny experiments will commence in 2008.

Selections of various subspecies have been extensively planted in species comparison experiments across the south west of WA and several agronomic experiments have been established. The latter have a focus on water use which is an important aspect of performance both in terms of biomass production and in treating the major national problem of dryland salinity (National Land and Water Resources Audit 2001).

Initial assessment of product potential has shown significant variation in the fodder value of phyllodes (George et al 2007) and that the wood fraction has suitable properties for manufacture of panel products (Olsen et al 2004).

THE SPECIES IN REGIÓN DE COQUIMBO

Subsp. *pruinescens* is the most commonly cultivated subspecies of *A. saligna* in Región de Coquimbo of Chile. The performance of this taxon on seasonally dry, recharge sites in this region raises questions whether this taxon has a remarkable degree of adaptability to semi-arid environments or if local environmental factors mediate conditions to facilitate its growth. The mean annual rainfall in Región de Coquimbo (ca 100 - 250 mm mean annual rainfall) is relatively low compared to the 300 - 1200 mm mean annual rainfall across the natural range of subsp. *pruinescens* in the south west of Australia. Subsp. *pruinescens* also favours relatively mesic habitats across its natural range being restricted to water-gaining sites near rivers, creeks and swamps. These factors suggest *a priori* it would poorly matched to the semi-arid conditions that prevail in Región de Coquimbo.

While detailed research is warranted to delineate the precise reasons that facilitate the successful growth of subsp. *pruinescens* in this region, some broad local environmental factors may help explain its success on recharge sites in Región de Coquimbo. The mean

annual temperature range appears to be relatively mild. For example, 10 - 22°C was given for Coquimbo, in the northern part of Region de Coquimbo (Armesto and Vidiella 1993). On a seasonal basis this range appears to be remarkably uniform and benign compared to the ranges estimated for the subspecies of *A. saligna* in Table 1, and particularly for subsp. *lindleyi*. The annual rainfall in this region is supplemented by interception of moisture from coastal fogs, which occur over much of the year, particularly during spring and summer (Amigo and Ramirez 1998; Cereceda and Schemenauer 1991). Despite the prevalence of these fogs they do not play a role in groundwater recharge over large parts of the region (Sequeo *et al.* 2006). They do, however, play an important role in mediating evaporation rates, and humidity in the region rarely falls below 80% throughout the year (Armesto and Vidiella 1993). Water stress is further alleviated by groundwater aquifers being maintained by recharge from higher parts of the terrain during the dry season in this region (Sequeo *et al.* 2006). While empirical data on the extent of the root system of subsp. *pruinescens* is scant, it is considered to be relatively shallow. Based on the growth of subsp. *pruinescens* in Región de Coquimbo, its root system must be deep enough to have sufficient capacity to supplement annual rainfall with groundwater recharge during the dry season.

Apart from relatively low levels of evaporation, mild temperatures and favourable levels of groundwater, there are probably a suite of other subtle environmental factors that facilitate the general diversity of plant growth in

Región de Coquimbo, given that this a part of Chile that represents a global hotspot for plant biodiversity (Arroyo *et al.* 1999). Despite the high number of species present in the region, subsp. *pruinescens* is often grown where there is limited competition from other plants, most notably other shrub or tree species. This lack of below-ground competition for soil and water resources, plus the nitrogen-fixing ability of its root system, is also likely to play a role in the current successful growth of this subspecies in this region.

Future Prospects for *A. saligna* in Región de Coquimbo

Based on information presented here, prospects for the domestication of *A. saligna* in Región de Coquimbo can be improved by a more precise evaluation of its natural genetic resources. For example, given the success of subsp. *pruinescens* to date in this region, range-wide provenance trials are warranted. These should include seedlots that represent its disjunct distribution, particularly some of its isolated eastern occurrences, where limited gene flow among populations could have led to divergence in levels of adaptive variation. Similarly, range-wide provenance trials of subsp. *saligna*, which does not appear to have been introduced to this region to date, are warranted to compare its performance with subsp. *pruinescens*. A comparative assessment of the performance of provenances from the two main disjunct occurrences of subsp. *saligna*, would be particularly useful.

The adaptability of subsp. *saligna* to grow well outside the climate parameters shown in Table 1 is exemplified by its performance in Australia and parts of North Africa. Throughout much of south eastern Australia it has become a weed species, including subtropical summer rainfall areas where it was used to rehabilitate sand mining areas. In North African countries, it is grown in regions which receive a mean annual rainfall as low as 200 mm and on sandy free-draining sites that includes sand dunes (Le Houerou, 2000). Despite growing in such semi-arid conditions it was estimated to have the potential to produce up to 3000 - 5000 kg of

dry matter forage per hectare. Sensitivity to cold rather than an intolerance of dry conditions was considered its main limitation in this region by Le Houerou. Areas above 800 m above sea level or areas where the mean minimum temperature of the coldest month is less than 3°C, limit its survival. Based on these data, its performance in Región de Coquimbo could be equally impressive.

Differences in all growth traits among taxa under cultivation will need to be assessed to match domestication aims. For example, coppicing ability is an important genotypic trait that differs among subspecies, and possibly among populations within subspecies. Poor coppicing ability in any of the subspecies will eliminate their prospects as a coppice crop. Based on observations from natural stands, subsp. *lindleyi* appears to have relatively poor coppicing ability. With 12 provenances representing subsp. *lindleyi* in the INFOR Tongoy trial (Fig. 2), there is potential to comprehensively test the coppicing ability of this subspecies under cultivation. By contrast, the demonstrated coppicing propensity of subsp. *pruinescens* is clearly a major factor in its acceptance as crop plant in Región de Coquimbo at present.

The success of the performance of subsp. *pruinescens* has implications for climate matching other species with domestication potential to this region. Matching temperature parameters rather than rainfall data from natural stands may be a more reliable parameter to use as basis for selecting other species that have growth potential in Region de Coquimbo

Potential for Collaboration

The Future Farm Industries Co-operative Research Centre (FFI CRC) will direct the future course of domestication of *Acacia saligna* in WA. This will be part of a more substantial program of domestication of native species including mallee eucalypts and *Atriplex nummularia* and several other species. The proportion of research investment allocated to any species will be opportunistic, i.e. the species with the most promising results will attract the greatest share of research investment.

From the WA perspective, major targets for investment in *Acacia saligna* will be fodder value and agronomic performance. Assessment of fodder value (i.e. nutritive value) can involve expensive laboratory analysis. Costly analysis will limit the intensity of selection that could be applied in the progeny testing. Initial investigation has shown that Near Infra Red Spectrophotometry (NIR) may be adaptable to large volume low cost field based analysis. Another factor that may prove to be important in the domestication of *Acacia saligna* is tolerance of some endemic fungal diseases that appear to pose a serious threat to productivity. These two issues will be subject to intensive investigation as part of assessment of performance in the progeny experiments.

There are many other factors that must be investigated as part of the process of development of this species as a useful crop. The FFI CRC is keen to collaborate with Chilean interests in this work.



Acknowledgements

Many thanks to INFOR staff, particularly Marta Abalos Romero, Santiago Barros, Juan Carlos Pinilla, Sandra Perret and also to Marcelo Cerda (CONFOR) who were extremely helpful and informative during a visit to Chile in January 2007 by MM. We are particularly grateful for the diligent efforts of Patricio Rojas Vergara (INFOR) who arranged the trip and was a most genial host during a field tour of Región de Coquimbo.

REFERENCES

- Amigo, J. and Ramirez, C., 1998.** A bioclimatic classification of Chile: woodland communities in the temperate zone. *Plant Ecology*. 139: 9-26
- Aravena, R., Suzuki, O. and Pollastri, A., 1989.** Coastal fog and its relation to groundwater in the IV Region of northern Chile. *Chemical Geology*. 79:83±91
- Armesto, J.J. and Vidiella, P.E., 1993.** Plant life-forms and biogeographic relations of the flora of Lagunillas (30°S) in the fog-free pacific coastal desert. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 80: 499-511.
- Arroyo, M.T.K., Rozzi, R., Simonetti, J.A., Marquet, P. & Salaberry, M., 1999.** Central Chile. Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions (ed. by R.A. Mittermeier, N. Myers, P.R. Ghil and C.G. Mittermeier), pp. 161–171. Conservation International and Agrupación Sierra Madre, Monterrey.
- Bartle, J.R., Olsen, G., Cooper, D. and Hobbs, T.J., 2007.** Scale of biomass production from new woody crops for salinity control in dryland agriculture in Australia. *International Journal of Global Energy Issues*: 27/2:115-137
- Cereceda, P. and Schemenauer, R.S., 1991.** The occurrence of fog in Chile. *Journal of Applied Meteorology*. 30:1097±1105
- George, N., Byrne, M., Maslin, B.R. and Yan, G., 2006.** Genetic differentiation among morphological variants of *Acacia saligna* (*Mimosaceae*). *Tree Genetics and Genomes*. 2: 109–119.
- George, N., Henry, D.A., Yan, G. and Byrne, M. (in review)** Variability in feed quality between populations of *Acacia saligna* and its correlation with genetic variation - implications for domestication. *Animal Feed Science Technology*.
- Hobbs, T.J., Bennell, M., Huxtable, D., Bartle, J., Neumann, C., George, N. and O'Sullivan, W., 2006.** 'FloraSearch Agroforestry Species and Regional Industries: Low rainfall farm forestry options for southern Australia.' A report for the Joint Venture Agroforestry Program and CRC for Plant-based Management of Dryland Salinity. RIRDC Publication No 06/
- Maslin, B.R. and McDonald, M.W., 2004.** AcaciaSearch. Evaluation of Acacia as a woody crop option for southern Australia. Report to the Rural Industries research and Development Corporation. Publication No. 03/017. Canberra, pp. 263.
- McDonald, M.W. and Maslin, B.R. (in prep.)** Intraspecific Variation in *Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl. (*Leguminosae: Mimosoideae*). Manuscript prepared for submission to Australian Systematic Botany.
- National Land and Water Resources Audit, 2001.** Australian dryland salinity assessment 2000. Extent,

impacts, processes, monitoring and management options. National Land and Water Resources Audit, Canberra, Australian Capital Territory. 129 p.

Olsen, G., Cooper, D. J., Huxtable, D., Carslake, J. and Bartle, J.R., 2004. Search Project Final Report. NHT Project 973849 - Developing Multiple Purpose Species for Large Scale Revegetation, CALM, Kensington, Western Australia.

Squeo, F.A., Aravena, R., Aguirre, E., Pollastri, A., Jonquera, C.B. and Ehleringer, J.R., 2006. Groundwater dynamics in a coastal aquifer in north-central Chile: Implications for groundwater recharge in an arid ecosystem. *Journal of Arid Environments*. 67: 240-254



TROPICAL ACACIAS: THEIR DOMESTICATION AND CONTRIBUTION TO ASIA'S WOOD AND PULP INDUSTRIES

Stephen Midgley¹

SUMMARY

About 1000 species of *Acacia* are native to Australia and neighbouring countries. Commercial plantations and smallholder woodlots have been established with three tropical acacia species, *Acacia auriculiformis*, *A. crassicarpa* and *A. mangium* and a hybrid, *A. auriculiformis* *A. mangium* (referred to as Acacia hybrid) and these are the focus of the current planting programmes. Over 1.8 Mha have now been planted in China, Malaysia, Indonesia, Papua New Guinea, the Philippines, Thailand, Vietnam, and in Melville Island in Australia.

Most of these estates are used as feedstock for Kraft pulp mills and significant quantities of wood are now finding their way into markets based on high-value solid timber.

Acacia mangium was first planted as an exotic in Malaysia 1966 and *A. crassicarpa* in China and Thailand in the early 1980s and their emergence as important commercial trees represents a major success in tree domestication. This paper traces the domestication of these species and the contribution they are making to regional wood supplies.

Keywords: Tropical Acacias, plantations, species domestication

¹ Stephen Midgley, Director, Salwood Asia Pacific Pty Ltd., Canberra, Australia. salwood@netspeed.com.au.

ACACIAS TROPICALES: SU DOMESTICACIÓN Y CONTRIBUCIÓN A LA INDUSTRIA DE PULPA Y MADERA EN ASIA

RESUMEN

Alrededor de 1000 especies de *Acacia* son nativas de Australia y países vecinos. Plantaciones comerciales y también de pequeños propietarios han sido establecidas con tres especies de acacias tropicales; *Acacia auriculiformis*, *A. crassicarpa*, *A. mangium* y un híbrido *A auriculiformis x A mangium* (a la que se hará referencia como acacia híbrida). Estas especies son el foco de los actuales programas de forestación. Más de 1,8 MM ha han sido plantadas en China, Malasia, Indonesia, Papúa Nueva Guinéa, Filipinas, Tailandia, Vietnam y en Melville Island en Australia.

La mayor parte de estos recursos son usados como materia prima en plantas de pulpa Kraft y volúmenes significativos de madera también están encontrando mercados basados en madera sólida de alto valor.

Acacia mangium fue inicialmente plantada como una especie exótica en Malasia en 1966 y *Acacia crassicarpa* en China y Tailandia a principios de los 1980s y su emergencia como importantes árboles comerciales representa un importante éxito en domesticación de especies. Este trabajo describe la domesticación de estas especies y la contribución que hoy representan en el abastecimiento de maderas en la región.

Palabras claves: Acacias Tropicales, plantaciones, domesticación de especies.

INTRODUCTION

The genus *Acacia* consists of about 1300 species in three subgenera: *Acacia*, *Aculeiferum* and *Phyllodineae*. About 1000 species of *Acacia* (almost all in subgenus *Phyllodineae*) are native to Australia and neighbouring Indonesia, Papua New Guinea (PNG) and some Pacific Island nations. As over 95% of these species are endemic to Australia, they are referred to collectively as 'Australian acacias' (Midgley and Turnbull, 2003). Some of the tropical Australian acacias are now used in commercial plantations in south-eastern Asia and have created the basis for substantial plantation-based industries. Within this region, plantations of tropical acacias have been established in China, Malaysia, Indonesia, Papua New Guinea, the Philippines, Thailand, Vietnam, and in Melville Island in Australia. Three tropical acacia species, '*Acacia auriculiformis*, *A. crassicaarpa* and *A. mangium* and a hybrid, *A. auriculiformis* × *A. mangium*' (referred to as *Acacia* hybrid), are the focus of the existing plantations and current planting programmes. The total area planted exceeds 1.8 Mha (Table 1) with *A. mangium* being the dominant species with about 1.5 Mha.

Most of these estates are used as feedstock for mills to make Bleached Hardwood Kraft Pulp (BHKP) and now significant quantities of wood are finding their way into markets based on high-value solid timber.

Table 1
THE TROPICAL ACACIA PLANTATION ESTATE IN ROUND FIGURES

Country	Area (1 ,000 ha)
Australia	10
Brazil	40
China	40
India	30
Indonesia	1200
Malaysia	200
Papua New Guinea	10
Vietnam	300–400

ACACIA PULPS

Acacia pulp is bright and white and suitable for tissue, fine paper, bible paper, directory stock, envelope paper and carbonless base paper. Tropical acacia pulps are typically short-fibred (0.7 – 1.0 mm), of high density (22 million fibres per gram) and compete in international markets for Bleached Hardwood Kraft Pulps (BHKP). They provide a pulp with very high density of very short fibres, which give smoothness and high levels of opacity (Roberts, 2002).



In 1995, the first trial shipments of acacia pulp were presented to the European market. Since that time the amount of pulp available internationally has increased steadily. In 2002, the large Indonesia producers, Asia Pulp and Paper, APRIL, PT Tel and Kiani Kertas increased production to an estimated 1.9 million tonnes and if expansion plans are achieved and the Indonesian pulp sector becomes largely plantation-based, the quantity of acacia pulp on the international market could grow to in excess of 4 million tonnes by 2010.

Current spot prices for tropical acacia pulps (US\$ 610 per tonne at August 2006) would place the value of tropical acacia pulp at about US\$ 2.5 billion in 2010 if production targets are met and prices maintained.

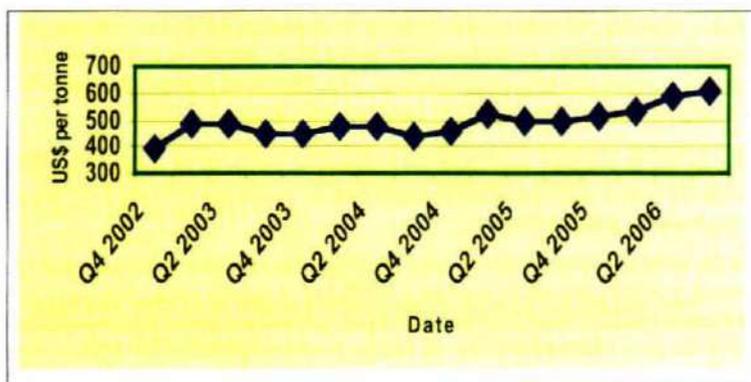


Figure 1
SPOT PRICES ACACIA KRAFT PULP 2002 - 2006

Pulp yields vary within species and between the two major commercial species *A. mangium* and *A. crassicaarpa*. Typically, the basic density of *A. crassicaarpa* (500 – 540 kg/m³) is greater than that of *A. mangium* (450 – 500 kg/m³) but the pulp yields are slightly lower; typically 51% for *A. crassicaarpa* and 52.5% for *A. mangium*.

ACACIA AS SOLID TIMBER

Most tropical acacia timber used as solid wood is *A. mangium*. The timber is of medium density and can be sawn easily, planed to a smooth surface, polished, drilled and turned. The wood is fairly stable, and it dries without serious defects when suitable kiln schedules are used (Razali and Hamami, 1992, Abdul-Kader and Sahri, 1993). The wood is also stable, with shrinkage from fresh to air-dry of around 6.4% tangentially and 2.7% radially, and fibre that is relatively straight and only in certain cases is found to have interlocked grain (Yamamoto, 1998). It is very durable when exposed to weather but not in contact with the ground. The heartwood is moderately resistant to preservative treatment. It makes excellent particle board, and is suitable for furniture and cabinet-making, light structural works, agricultural tools, boxes and crates. It has been sliced for veneer and is frequently finger-jointed.

A large market for acacia wood is developing in Vietnam where it is a part of the country's booming wood products export business. In 2006, the value of exported finished wood products from Vietnam will reach US\$ 2.1 billion (Fig. 2). In excess of 80% of the raw material for this valuable industry is imported, including *A. mangium* logs of Malaysian origin.

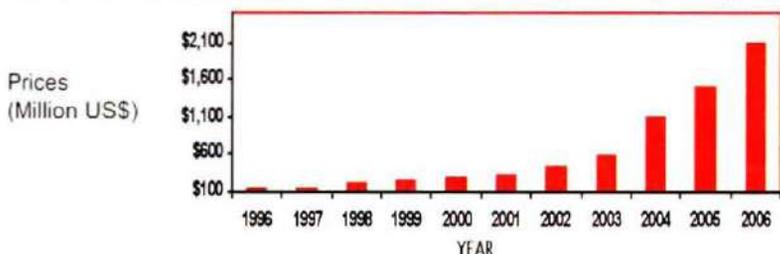


Figure 2
VIETNAM'S WOOD PRODUCTS EXPORTS

These sawlogs are small by Australian standards, rarely exceeding 30 cm dbhob and as small as 10 cm small-end diameter (sed).

The prices received at the mill gate for acacia logs in Vietnam are quite variable (Table 3). In 2003, prices were US\$ 35–80 m³. At one mill, a premium was paid for larger logs. The price being offered for acacia pulp wood during the same period was US\$ 14–26 m³. Imported logs of *A. mangium* from Malaysia were being landed at the port near Ho Chi Minh City for about US\$ 85 m³ which is the top end of the price range being offered for local logs at the mill gate.

As a pioneer in growing acacia, Malaysia is now a major exporter of acacia wood. Several companies actively export both logs and processed sawn timber. For example, log prices were around US\$50 /m³ and finger-jointed timber US\$900 /m³ FOB in 2005 (Table 2).

Table 2
SOME EXAMPLES OF THE MARKETING OF ACACIA WOOD IN MALAYSIA IN 2005

Company	Product	Capacity (per month)	Price (US\$/ m ³ FOB)
High Quality Wood Sdn Bhd	Logs >20 cm sed	3000–6000 m ³	52
KD S4S lumber		10–50 containers	450–480
KD tiles		10–20 containers	490
KD finger-jointed laminated T&G timber		5–20 containers	900
Dagangan Hdn		Sawn timber in various lengths to 1 m	250
Amazon Timber Sdb Bhd		Air-dried sawn timber 2"– 3" to 2 m length	230/ tonne
Indonesia (misc suppliers)		Kiln dried sawn lumber (Hardyanto, pers comm)	100

Prices are per cubic metre unless otherwise stated

Table 3
EXAMPLES OF PRICES PAID FOR ACACIA LOGS IN VIETNAM
AND USED AS SOLID TIMBER FOR FURNITURE

Date	Site	Product	Price (US\$/m ³)
Apr 2003	Quang Tri	At farm gate: about 30 cm dbhob	43
Sep 2003	Hue	At mill gate: 15–20 cm sed	38
Sep 2003	Hue	At mill gate: 20–30 cm sed	45
Sep 2003	Hue	At mill gate: >30 cm sed	52
Sep 2003	Ho Chi Minh City	At mill gate: 20 cm sed	80
Sep 2003	My Xuyen (near Hue)	At mill gate: >20 cm sed	35–40
Sep 2003	Hue City factories	At mill gate: >20 cm sed	45–58

The data were provided mainly by provincial forestry officials, but were largely corroborated in the field.

TROPICAL ACACIAS AS EXOTICS

Tropical acacias are adapted to a wide range of site conditions in the seasonally-dry and lowland humid tropics. The first species to be planted extensively was *A. auriculiformis* and it has been planted as an exotic in Asia for more than 70 years. Introduced into Malaysia in 1932 and Thailand in 1935 it has since been planted widely. In India it has become a major plantation species and in China over 50,000 ha of plantations and 3,000 km of roadside plantings have been established. It was the introduction of *A. mangium* into Sabah, Malaysia, from Australia in 1966 that created the major interest in tropical acacias. Initially introduced as a plant in firebreaks to protect pine plantations, its rapid growth suggested its potential for wood production and early plantations were established in Malaysia (Yap, 1987).

Based on the early introductions and success of *A. auriculiformis* and *A. mangium*, there was recognition in the 1970s and 1980s that other acacias had potential as highly adaptable, multipurpose trees to provide fuelwood and industrial wood for the tropics (e.g. Boland and Turnbull, 1981). This stimulated major exploration of the rich genetic resources of the genus in Australia and adjacent countries. In the early 1980s CSIRO, with the encouragement of FAO and support of various donor agencies (primarily the Australian Centre for International Agricultural Research) and with the cooperation of national research partners and land managers, began comprehensive seed collections of acacias in the humid tropics of Australia, Indonesia and Papua New Guinea (Turnbull *et al.*, 1983; Skelton, 1987; Searle, 1989; Gunn and Midgley, 1991) and a series of large-scale species elimination and provenance trials with partners in countries such as China, Thailand, Indonesia and Australia.

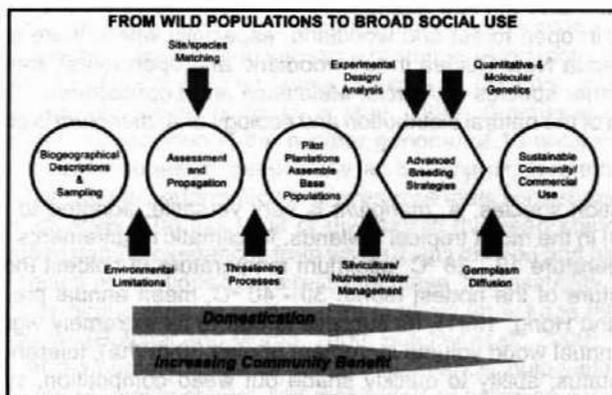
Acacia crassicarpa was identified as part of this process and since 1995 has developed into a commercial species, mainly in lowland Sumatra, Indonesia.

Natural hybrids between *A. mangium* and *A. auriculiformis* (*Acacia* hybrid) were

recorded in Sabah by Sim (1987) with some displaying greater vigour, increased apical dominance, finer branching and greater pulp yields. In Vietnam, *Acacia* hybrid is now the dominant stock for planting because the best selected hybrid clones have been shown to have marked heterosis for growth in many regions of Vietnam (Kha, 2001). By the end of 2004 this species accounted for 127,000 ha in Vietnam and in 2004 alone 46,000 ha of the hybrid were planted (van Bueren, 2005).

DOMESTICATION

Figure 3 (adapted from Midgley 1995) illustrates the domestication process that is being applied wholly or in part to acacias. It is difficult to identify discrete stages because plant domestication is a continuum and progress through all stages might not be socially necessary or economically viable.



(Midgley, 1995)

Figure 3
THE PROCESS OF DOMESTICATION

The process of domestication which has seen *Acacia mangium* (since 1966) and *A. crassicarpa* (since 1984) come from obscurity, into experimental trials and become species of major commercial importance, has involved plantation managers and researchers from many countries.

The challenging process of exploration and manipulation of the wild genetic resource to derive uses and products for maximum social benefit is regarded as domestication. It is an ill-defined process but it has a clear beginning (the wild plant), a middle (human intervention via propagation, selection and manipulation) and an outcome (enhanced human benefit). It begins with the original variability in the natural forest and ends in productive plantations (Libby, 1973) and full tree domestication includes identification and characterisation of its germplasm resources; the capture, selection and management of genetic resources; and the regeneration and sustainable cultivation of the species in managed ecosystems (Leakey and Newton, 1994).

In contrast to that of most agricultural crops, the principal domestication of trees has occurred in the last one hundred years and only a few species are significantly changed from their wild state. Intensive domestication programmes have been applied only to eucalypts, pines or other species with high value for products such as timber and paper. The rapid progress with the domestication of tropical acacias, particularly *A. crassicarpa* that was first planted in species trials in 1984, has been remarkable.

Domestication and Use of *Acacia mangium* Willd.

In its area of natural occurrence *A. mangium* is a large tree, to 30 m tall, with a straight bole, which may be over half the total tree height but rarely has a diameter over 50 cm. Most natural occurrences are in the coastal, tropical lowlands, usually at an altitude below 300 m. It extends from northern Queensland through the Western Province of Papua New Guinea into the Indonesian provinces of West Papua (Merauke District and Vogelkop Peninsula) and Maluku (Sula, Ceram and the Aru Islands). *A. mangium* grows on the margins of closed forest (rain forest), in open forest and woodland, especially where there is disturbance by fire. It occurs in Papua New Guinea in tall woodland and open forest, frequently in mixed associations with other species of *Acacia*, *Melaleuca* and *Lophostemon* (Skelton, 1987). A detailed description of the natural distribution and ecology of *A. mangium* is provided in Awang and Taylor (1993).

As a plantation species, *A. mangium* is very versatile, adapted to a wide range of acidic soils (pH 4.0) in the moist tropical lowlands. Its climatic requirements as an exotic are: mean annual temperature 18 - 28 °C, minimum temperature of coldest month 10 - 24 °C, maximum temperature of the hottest month 30 - 40 °C, mean annual precipitation 1000 - 4000 mm (Booth and Hong, 1991). Its success is due to its extremely vigorous growth on favourable sites (annual wood volume increment of over 30 m³/ha); tolerance of acidic soils with low nutrient status; ability to quickly shade out weed competition, such as *Imperata* grass; relative freedom from diseases; wood properties which potentially make it acceptable for a wide range of end uses; and ease of establishment. Commercial pulpwood plantations are not usually thinned or pruned and are harvested at 6 - 7 years. Trees are harvested for sawlogs at 10 - 12 years.

Since the initial introduction to Sabah in 1966, extensive plantations were established in Malaysia and Indonesia after 1973 and much of the information on silviculture and utilisation of *A. mangium* comes from this region. The initial plantations were established using unselected wild genetic material so the domestication period has been relatively short, but the high value of the plantations and the pulp mills that they feed has resulted in intensive research since about 1980. Much has been learnt about the species in the last 25 years and has resulted in efficient silvicultural practices and the use of selected, highly productive germplasm, including hybrids, sometimes in clonal plantations.

- Sampling and Characterisation of Genetic Variation

Exploration of the natural distribution of *A. mangium* and the systematic collection of seed and botanical material took place mainly between 1980 -1990 and was described by

Gunn and Midgley (1991). The seed collections were used to establish international provenance trials to examine the patterns of genetic variation in growth rate, stem straightness and frequency of multiple leaders and the extent of genotype x environment interactions. The results of the early trials were reported by Harwood and Williams (1992). There were highly significant differences in performance between experimental sites (19), between provenance regions (5) and among the local provenances within provenance regions. Growth was generally faster at near-equatorial trial sites, with mean annual increment in height around 3 - 4 m, and slower at sites further from the equator. Papua New Guinea provenances consistently grew fastest, closely followed by the Claudie River provenance from far north Queensland. Significant gains were therefore possible simply by using seed from wild populations in selected localities.

In contrast to large differences in growth performance of families and provenances, allozyme studies indicate low levels of genetic variability within and between populations in this species (Moran *et al.*, 1989a). Harwood and Williams (1992) concluded that allozyme studies examine only a small sub-set of the genome, and therefore do not provide an absolute measure of overall genetic variation, and subsequent studies using restriction fragment length polymorphisms (RFLPs) detected higher levels of variation (Butcher *et al.*, 1998) and high levels of selfing in natural populations (Butcher *et al.*, 1999). Butcher *et al.* (1996) also used RFLPs to assess genetic variation in the nuclear genome of 10 natural populations and a derived population (an Indonesian seed stand at Subanjeriji, Sumatra). The ranking of populations based on growth performance in provenance trials corresponded to the rankings based on genetic diversity. The low level of diversity in the seed stand reflected the low variation in the Queensland provenances from which it was derived and highlights the danger of establishing breeding populations from a restricted base. Microsatellite markers have been developed to provide highly variable co-dominant markers for linkage mapping and studies of the breeding system (Butcher and Moran, 2000; Butcher *et al.*, 2000). Molecular markers can aid selection at the nursery stage for disease resistance, pulp yield and wood density and provide a means of quality control and monitoring of breeding programs and Butcher (2004) has described the application of molecular technologies for acacias.

- Breeding

Following these trials, further comprehensive seed collections were undertaken and seedling seed orchards established to produce better quality seed for future planting programs. Breeding programs are now in place in China, Philippines, Vietnam, Australia, Indonesia, Thailand, Papua New Guinea, Malaysia, India and Cambodia. To support breeding activities, detailed studies of flowering and seeding behaviour were undertaken (e.g. Sedgley *et al.*, 1992). Flowering and seeding commence at about two years of age under plantation conditions. Pollination is by insects, especially bees, and mature pods can be harvested about seven months after flowering. Research to develop vegetative propagation and controlled seed production technologies began first in Malaysia (Carron and Aken, 1992). This work has since gained momentum, especially in Vietnam where outstanding hybrid clones have been identified, tested and mass propagated for commercial operational use (Kha, 1996, 2001; Nghia, 2000; van Bueren, 2005).



- Propagation and Silviculture

To fully realize the benefits of the tree breeding and hybridization work an effective and economical means of mass propagation was developed. Stem cuttings of young *A. mangium* seedlings are easily rooted when they are treated with hormones and planted in suitable rooting medium. However, the rooting percentage of stem cuttings decreases significantly with older stock plants (see papers in Carron and Aken, 1992). There has been significant progress in both micropropagation and conventional root cuttings and the use of cuttings of select trees is now a common feature of commercial plantings of *A. mangium*.

Acacia mangium fixes nitrogen in many tropical soils after nodulating with a range of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* strains. It is, however, much more specific in its *Rhizobium* affinities than some other acacias (Dart *et al.*, 1991). This nitrogen-fixing potential may only be realised in many soils if adequate P and sometimes K fertiliser is applied, but nodule development may be inhibited at higher levels of N. Inoculation with *Rhizobium* is not usually essential but may be beneficial when seedlings are raised in sterilised media or planted on highly degraded soils or mine spoil.

Pests and diseases must be considered as part of the domestication process as they can be major factors in management of plantations. Surveys of insect pests and diseases of *A. mangium* have been made. Foliar diseases stem cankers, root rots and heart rots have been identified, with root rot widespread and a potentially serious threat to plantations established on recently cut-over forest (Old *et al.*, 2000; Barry, 2002; Potter *et al.*, in press). There are recent reports that a root rot caused by *Ganoderma* sp. can affect 5-20% of second-rotation *A. mangium* plantations. Whilst few insect pests have been recorded, Nair and Sumardi (2000) identified the sap-sucking bug, *Helopeltis* spp. as a potentially serious threat in *A. mangium* plantations.

Domestication and Use of *Acacia crassicarpa* A.Cunn. ex Benth.

A. crassicarpa illustrates the potential for rapid domestication of fast-growing, early-flowering tropical tree species. In 1980 *A. crassicarpa* was almost of insignificant commercial importance in native forests and was best known by botanists and ecologists through its close association with its better-known cousins, *A. mangium* and *A. auriculiformis*. Over the past twenty years, it has gone from a virtually unknown tree in the wilds of north Queensland and New Guinea to a major commercial plantation species for pulp and paper in Southeast Asia. Its natural occurrence in the humid tropics, good bole form and vigour on poorly drained, acidic sites suggested it could find a place in tropical forestry.

In its natural stands, *A. crassicarpa* is a moderately large tree up to 30 m tall which reaches its best development in the south of Papua New Guinea and West Papua, Indonesia. In north Queensland it is a component of many diverse vegetation associations on a variety of soil types but in Papua New Guinea (PNG) it occurs in woodlands and open-forests commonly fringing seasonally flooded plains. It occurs frequently in mixed associations with *A. auriculiformis*, *A. mangium*, *A. leptocarpa* and species of *Melaleuca* and *Lophostemon* (Thomson, 1994; Doran and Turnbull, 1997).



It was first tested in China and Thailand in the early and mid 1980s and subsequently in neighboring countries such as Indonesia, Malaysia and Vietnam. Over 200,000 ha of commercial plantations have now been established in Sumatra, Indonesia, where it is being grown on highly organic soils with a low pH that may be waterlogged occasionally (CSIRO data; Midgley, 2000). The tree has outstanding, as yet largely untapped, potential for other very difficult sites in South-East Asia. These include planting above saline seeps in northeast Thailand for groundwater recharge control, and reforestation of acidic, infertile sands with seasonal waterlogging and shallow hardpan in central Vietnam. *A. crassicarpa* also has potential in agroforestry and is now being grown for fuelwood in woodlots by 3,000 farmers in Tabora district, Tanzania, following its introduction in 1988 by the International Centre for Research in Agroforestry (D.J. Boland, *pers. comm.*).

The rapid domestication of *A. crassicarpa* has involved substantial collaborative R&D work in Australia, Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam and China. Unlike *A. mangium*, the most productive provenances were identified before large-scale planting commenced. Much of the early work was initially within projects between CSIRO and research partners supported by ACIAR, and under the auspices of the Consultative Group for Research and Development of Acacia (COGREDA), national institutes and most recently in the private pulp and paper sector.

- Sampling and Characterisation of Genetic Variation

The first seed collections of *A. crassicarpa* destined for forestry research were collected for CSIRO in north Queensland in 1981. The FAO Forestry Department and the Danish aid agency, DANIDA, shared an enthusiasm for the potential of tropical acacias for reforestation, and in 1982 supported joint CSIRO/PNG Forest Research Institute collections to complete the sampling of *A. crassicarpa* in Australia and PNG (Turnbull *et al.*, 1983). Further collections by the CSIRO Australian Tree Seed Centre followed over the next 10 years with donor support from AusAID and ACIAR (Gunn and Midgley, 1991). These included the first collections of *A. crassicarpa* in Irian Jaya, Indonesia, in 1990, in collaboration with the Indonesian Ministry of Forestry (Vercoe and McDonald, 1991).

Species/provenance trials in Thailand clearly demonstrated the outstanding growth potential of PNG provenances of *A. crassicarpa*, with early height growth rates of 5 m per year being recorded (Pinyopusarerk, 1989). Interest in *A. crassicarpa* grew rapidly once high quality, source-identified seed was available from natural provenances. By 1990, the ATSC had sent out over 500 research seedlots, primarily to research partners in South-East Asia and China. By 1993 the species had demonstrated excellent survival and vigour in trials across a range of sites in the humid tropics and was recorded by COGREDA as the third most important tropical acacia in Southeast Asia (Awang and Taylor, 1993). Its suitability for shallow sandy soils (e.g. Sim and Gan, 1991), peaty soils and the overwhelming superiority of the PNG provenances had been demonstrated (e.g. Chittachumnonk and Sirilak, 1991). However, a comparison of the various provenance trials shows there is a strong genotype x environment interaction and not all PNG provenances grow well on all sites (Awang *et al.*, 1998). Queensland provenances appear to be more resistant to cyclone damage than the faster-growing PNG provenances. Provenance variation in economically important wood

properties has been demonstrated in Malaysia (Shukor *et al.*, 1998). The same study identified Samlleberr (West Papua) and Olive River (north Queensland) as the most promising seed sources for growth and wood properties for industrial plantations. Seed orchards have been established by CSIRO and research partners in Thailand, Vietnam and Philippines and by commercial companies in Indonesia.

- Breeding

The breeding system and genetic diversity were studied by Moran *et al.* (1989b). Seedling seed orchards were first established in China (Pan, 1988) and subsequently in Australia (Harwood *et al.*, 1993), Indonesia (Nirsatmanto, 1998), Philippines, Thailand and Vietnam. *A. crassicarpa* is closely related to other commercially important Acacia species (McDonald and Maslin, 2000) and there is potential for intra-specific hybrids with *A. auriculiformis*, *A. peregrina*, *A. mangium* and *A. midgleyi* to improve certain attributes or perhaps utilise heterosis for growth as observed in the *A. auriculiformis* x *A. mangium* hybrid in Vietnam.

- Propagation and Silviculture

Cuttings can be successfully rooted from trees less than three years old but are difficult to root when taken from older trees (Thomson, 1994). Marcotting is effective for vegetative propagation from older trees (Awang *et al.*, 1998). Maintenance of juvenility in hedge plants is a significant challenge to development of fully-clonal planting programs.

Acacia crassicarpa is susceptible to some foliar disease and root rots but has not yet been damaged by heart rot (Old *et al.*, 2000). Insect pests such as stem borer beetles (*Platypus* spp.) and the stem-girdling beetle (*Sinoxylon* sp.) have been reported (Thomson, 1994) but so far damage by pests has been localized.

CONCLUSIONS

The tropical acacias have become an established part of the plantation landscape in many countries and are offering considerable economic, social and environmental benefits.

They have proven to be highly attractive for production of high value, short fibred pulps, and already-extensive plantations are expanding to meet market need. As acacia plantations mature and wood supplies become more reliable, industries are being established to use their high quality woods for furniture, flooring and other solid wood applications. International markets for small size acacia logs have evolved and this is matched by a market acceptance of acacia solid wood.

Their domestication so far has left an exciting foundation of knowledge upon which further challenging work can be built. The problems experienced with weediness and serious genetic deterioration due to inbreeding when introduced

and managed haphazardly have been recognised and are the focus of attention. The current rapid planting of tropical acacias has been similar to that of eucalypts in South America in the 1970s. The ongoing advances witnessed with eucalypts in South Africa are likely to be repeated with acacias in SE Asia – productivity will increase, industrial benefits will accrue and environmental and social issues will be more closely understood.

The tropical acacias have become an established part of the commercial plantation industry in SE Asia. Their rapid domestication and commercialization in less than 40 years has been remarkable and rivals that for any other plant species. Knowledge of natural variation, breeding systems, silviculture, propagation, fungal pathogens and insect predators, wood quality and the emergence of molecular technologies promise much for the future development of these species. International collaboration has contributed greatly to the domestication process so far and will continue to be important.

Domestication is not simply selection, breeding and attaining higher productivity. Productivity must be attained within the principles of sustainable plantation forestry upon which the sustainable business of plantation forestry rests. Acacias are a preferred source for high quality fibre for many modern pulp and paper industries. Provided the principles of sustainable plantation management are respected, acacia plantations offer an economically, socially and environmentally attractive option for supply of high quality raw material.



REFERENCES

- Abdul-Kader, R. and Sahri, M.H., 1993.** Properties and utilization. In: Awang, K. and Taylor, D. (eds) *Acacia mangium: Growing and Utilisation*. Winrock International and FAO, Bangkok, pp. 225–242.
- Awang, K. and Taylor, D. (eds), 1993.** *Acacia mangium* growing and utilization. MPTS Monograph Series No.3. Winrock International and FAO, Bangkok. 280pp.
- Awang, K., Jamahari, S., Zulkifli, A.A. and Shukor, N.A.A., 1998.** Growth, marcottability and photosynthetic rate of *Acacia crassicaarpa* provenances at Serdang, Malaysia. In: Recent Developments in Acacia Planting, J.W. Turnbull, H.R. Crompton and K. Pinyopusarerk (eds), Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra, ACIAR Proc. No.82, pp299-304.
- Barry, K. (ed), 2002.** Heartrots in Plantation Hardwoods in Indonesia and Australia. ACIAR Technical Reports No. 51e.
- Boland, D.J. and Turnbull, J.W., 1981.** Selection of Australian trees other than eucalypts for trials as fuelwood species in developing countries. *Aust. For.* 44:235-246.
- Booth, T.H. and Hong, Y., 1991.** Identifying climatic areas in China suitable for *Acacia mearnsii* and *A. mangium*. Pages 52-56. In: Turnbull, J.W. (ed.) *Advances in tropical acacia research*. ACIAR Proceedings No. 35. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.
- Butcher, P. A., 2004.** Genetic mapping in Acacias. Chapter 17 in: Kumar, S. and Fladung, M. (eds)(2004). *Molecular Genetics and Breeding of Forest Trees*. ISBN: 1560229594. Haworth Press.
- Butcher, P.A. and Moran G.F., 2000.** Genetic linkage mapping in *Acacia mangium* 2. Development of an integrated map from two outbred pedigrees using RFLP and microsatellite loci. *Theoretical and Applied Genetics* 101: 594-605.
- Butcher, P.A., Moran, G. F. and Bell, R., 2000.** Genetic linkage mapping in *Acacia mangium* 1. Evaluation of restriction endonucleases, inheritance of RFLP loci and their conservation across species. *Theoretical and Applied Genetics* 100: 576-583.
- Butcher, P.A., Moran, G. F. and Perkins, H. D., 1998.** RFLP diversity in the nuclear genome of *Acacia mangium*. *Heredity* 81: 205-213.
- Butcher, P.A., Moran, G.F. and Perkins, H.D., 1996.** Genetic resources and domestication of *Acacia mangium*. Pages 467-471. In: Dieters, M.J., Matheson, A.C., Nikles, D.G., Harwood, C.E. and Walker, S.M.(eds.), *Tree improvement for sustainable tropical forestry*. Proceedings of. QFRI-IUFRO Conference, Caloundra, Australia, October/November 1996, Queensland Forestry Research Institute, Gympie, Australia.
- Butcher, P.A., Swann, K., Morosin, G. and Moran, G.F., 1999.** Evidence for the evolution of high rates of selfing in native populations of *Acacia mangium* – implications for domestication. Poster presented at the IUFRO Conference on Forest Biotechnology, Oxford, July 10-16, 1999.
- Carron, L.T. and Aken, K.M. (eds.), 1992.** Breeding technologies for tropical acacias. ACIAR Proceedings No. 37. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.
- Chittachumnonk, P. and Sirilak, K., 1991.** Performance of Acacia species in Thailand. In: *Advances in Tropical Acacia Research*, J.W. Turnbull (ed), Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra, ACIAR Proc. No.35, pp153-158.

Dart, P., Umali-Garcia, M. and Almendras, A., 1991. Role of symbiotic associations in nutrition of tropical acacias. Pages 13-19. In: Turnbull, J.W. (ed.). *Advances in tropical acacia research*. ACIAR Proceedings No. 35. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.

Doran, J.C. and Turnbull, J.W. (eds), 1997. Australian trees and shrubs: species for land rehabilitation and farm planting in the tropics. ACIAR Monograph No.24. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra. 384 pp.

Gunn, B.V. and Midgley, S.J., 1991. Exploring and assessing the genetic resources of four selected tropical acacias. Pages 57-63. In: Turnbull, J.W. (ed.). *Advances in tropical acacia research*, ACIAR Proceedings No. 35. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.

Harwood, C.E. and Williams, E.R., 1992. A review of provenance variation in growth of *Acacia mangium*. Pages 22-30 In: Turnbull, J.W. (ed.) *Advances in tropical acacia research*. ACIAR Proceedings No. 35. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.

Kha, L. D., 2001. Studies on the Use of Natural Hybrids between *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* in Vietnam. Agriculture Publishing House, Ha Noi, 172 pp

Kha, L. D., 1996. Studies on natural hybrids of *Acacia mangium* and *A. auriculiformis* in Vietnam. Pages 328-332. In: Dieters, M.J., Matheson, A.C., Nikles, D.G., Harwood, C.E. and Walker, S.M.(eds.), *Tree improvement for sustainable tropical forestry*. Proceedings of. QFRI-IUFRO Conference, Caloundra, Australia, October/November 1996, Queensland Forestry Research Institute, Gympie, Australia.

Leakey, R. R. B. and Newton, A. C., 1994. Domestication of 'Cinderella' species as the start of a woody-plant revolution. Pages 3-15. In: Leakey, R. R. B. and Newton, A. C. (eds) *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. Proceedings of ITE Symposium No. 29, ECTF symposium No 1. Edinburgh, 23 – 28 August 1992. Her Majesty's Stationery Office, London.

Libby, W. J. 1973. Domestication strategies for forest trees. *Canadian Journal of Forest Research* 3,265-276

McDonald, M.W. and Maslin, B., 2000. A revision of the salwoods: *Acacia aulacocarpa* Cunn. ex Benth. and its allies (Leguminosae: Mimosoideae: section Juliflorae). *Aust. Syst. Bot.* 13:21-78.

Midgley, S. J., 2006. Tropical Acacia Plantations: Their Contribution to Asia's Wood and Pulp Industries. Paper to: Borrowed Jade – The Role that Exotic Tree Species Play in Mitigating the Crises of Natural Forest Resources and Deterioration of the Environment. 11th Session of the National Conference on Tree Domestication, Division of Exotic Forestry, Chinese Society of Forestry. Urumqi, Xinjiang Autonomous Region, China. August 15-18, 2006.

Midgley, S. J. and Beadle, C., 2006. Tropical acacias an expanding market for solid wood. Proc. Australian Blackwood Industry Group 4th Blackwood Workshop. 26 – 29 April, 2006. Marylands, Victoria, Australia. Australian Forest Growers.

Midgley, S. J. and Turnbull, J. W., 2003. Domestication and use of Australian acacias: case studies of five important species. *Australian Systematic Botany* 16, 89-102.

Midgley, S. J., 1995. Seed collection strategies in a changing world. Pages 175-186. In: Olesen, K. (ed.). *Innovations in Tropical Tree Seed Technology*. Proceedings of IUFRO Working Group 2.04, International Tree Seed Symposium, Arusha, Tanzania, 7-10 September 1995. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark.



Midgley, S. J., 2000. *Acacia crassicaarpa*: a tree in the domestication fast lane. Australian Tree Resources News 6, 1-2, CSIRO Forestry and Forest Products, Canberra. <http://www.ffp.csiro.au/tigr/atrnews/atrnews6.pdf>

Midgley, S. J., Turnbull, J. W. and Pinyopusarerk, K., 2003. Industrial Acacias in Asia: Small Brother or Big Competitor? In: *Eucalyptus Plantations – Research, Management and Development*, R-P. Wei and D. Xu (Eds), Proc. Of International symposium on "Eucalyptus Plantations", Guangzhou/ Zhaoqing, China, 1-6 September 2002, World Scientific, Singapore, pp 19 – 36.

Moran, G. F., Muona, O. and Bell, J.C., 1989a. *Acacia mangium*: a tropical forest tree of low genetic diversity. *Evolution* 43: 231-235.

Moran, G. F., Muona, O. and Bell, J.C., 1989b. Breeding systems and genetic diversity in *Acacia auriculiformis* and *A. crassicaarpa*. *Biotropica* 21: 250-256.

Nair, K.S.S. and Sumardi, 2000. Insect pests and diseases of major plantation species. Pages 15-38. In: Nair, K.S.S. (ed.). *Insect pests and diseases of Indonesian forests*. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia. 85pp.

Nghia, N. H., 2000. Successful development of *Acacia* species in Vietnam. APAFRI Publication Series No.5. APAFRI Secretariat, Serdang, Malaysia. 33pp.

Old, K. M, Lee, S.S., Sharma, J.K. and Zi, Q.Y., 2000. A manual of diseases of tropical acacias in Australia, South-East Asia and India. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia 104pp. Pan Z. *et al.* 1988. Preliminary report on the 3-year old provenance tests of tropical acacia in China. *Forest Research* 1, 553-558. (in Chinese).

Pinyopusarerk, K., 1989. Growth and survival of Australian tree species in field trials in Thailand. In: *Trees for the tropics – Growing Australian Multipurpose Trees and Shrubs In Developing Countries*, D.J. Boland (ed), ACIAR Monograph No.10, pp109-127.

Potter, K., Rimbawanto, A. and Beadle, C. (eds), 2006. Heart Rot and Root Rot in Acacia Plantations. Proceedings of ACIAR Workshop, Yogyakarta, Indonesia. ACIAR, Canberra. In press.

Razali, A. K. and Hamami, S.M., 1992. Processing and utilisation of acacias, focussing on *Acacia mangium*. In: *Tropical Acacias in East Africa and the Pacific*, K. Awang and D.A. Taylor (eds), Winrock International Institute for Agricultural Research, Bangkok, pp86-91.

Roberts, J., 2002. The case for Acacia. Pulp and Paper International (online edition), May 2002, www.paperloop.com.

Searle, S. D., 1989. Seed collections of lesser-known trees and shrubs in Queensland, Australia. In: *Trees for the Tropics*, D.J. Boland (ed), Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra, ACIAR Monograph No.10, pp27-34.

Shukor, N.A.A., Nang, A.N. and Awang, K., 1998. Selected wood properties of *Acacia auriculiformis* and *A. crassicaarpa* provenances in Malaysia. In: *Recent Developments In Acacia Planting*, J.W. Turnbull, H.R. Crompton and K. Pinyopusarerk (eds), Proc. of an International Workshop held in Hanoi, Vietnam, 27-30 October 1997, Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra, ACIAR Proc. No.82, pp155-160

Sim, B. L., 1987. Research on *Acacia mangium* in Sabah: a review. Pages 164-166. In: Turnbull, J.W.

(ed.) Australian acacias in developing countries. ACIAR Proceedings No. 16. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.

Skelton, D. J., 1987. Distribution and ecology of Papua New Guinea acacias. Pages 38-44. In: Turnbull, J.W. (ed.) Australian acacias in developing countries. ACIAR Proceedings No. 16. Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra.

Thomson, L. A. J., 1994. *Acacia aulacocarpa*, *A. cincinnata*, *A. crassicarpa* and *A. wetarensis*: an annotated bibliography. CSIRO Canberra: Australian Tree Seed Centre. 131pp.

Turnbull, J. W., Midgley, S. J. and Cossalter, C., 1997. Tropical Acacias Planted in Asia - an Overview. In: Turnbull, J. W., Crompton, H. R. and Pinyopusarerk, K. (eds) (1998). Recent developments in acacia planting. Proceedings of an international workshop held in Hanoi, Vietnam, 27-30 October 1997. ACIAR proceedings No. 82, 383 p.

Turnbull, J. W., Skelton, D.J., Subagyono, M. and Hardiyanto, E.B., 1983. Seed collections of tropical acacias in Indonesia, Papua New Guinea and Australia. Rome: FAO, Forest Genetic Resources Information No.12, pp2-15.

van Bueren, M., 2005. Acacia Hybrids in Vietnam. ACIAR Impact Assessment Report. [www.aciar.gov.au/web.nsf/att/JFRN-6BN9D3/\\$file/ias27](http://www.aciar.gov.au/web.nsf/att/JFRN-6BN9D3/$file/ias27)

Vercoe, T. K., and McDonald, M. W., 1987. Seed collections of salt tolerant woody plant species in Australia. Australian Tree Seed Centre, CSIRO Division of Forestry and Forest Products, Canberra. (Unpublished report).

Yamamoto, H., 1998. The evaluation of wood qualities and working properties for the end use of *Acacia mangium* from Sabah, Malaysia. International Conference on Acacia Species — Wood Properties and Utilization, Penang, Malaysia.

Yap, S. K., 1987. The introduction of Acacia species to Peninsular Malaysia. In: Australian Acacias in Developing Countries, J.W. Turnbull (ed), Australian Centre for International Agriculture Research, Canberra, ACIAR Proc. No.16, pp151-153.



AVANCES EN LA ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA ESPECIES DEL GENERO ACACIA EN LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE

María Paz Molina B.¹ y Juan Carlos Pinilla S.²

RESUMEN

Desde la década de los noventa, el Instituto Forestal de Chile ha realizado investigación en el área del mejoramiento genético y prácticas silvícolas en especies del género *Acacia*, con el objetivo de proveer a los potenciales usuarios de información y material genético selecto que contribuya a posicionarlas como una alternativa forestal productiva.

Las especies del género *Acacia* contempladas en la investigación de INFOR, son secundarias en el sector forestal chileno, pero concentran un gran potencial para incorporarse a la producción de madera aserrada de alto valor (*A. melanoxylon*), o en la recuperación de terrenos degradados y complemento de la producción de pulpa y madera (*A. dealbata*). Ambas cuentan con el potencial para jugar un rol relevante en la diversificación de la base productiva del sector forestal nacional.

En este trabajo se presentan los aspectos generales de la estrategia de mejoramiento genético formulada para especies del género *Acacia* en Chile. También se analizan y discuten los primeros resultados de 2 ensayos de progenies de 6 años, San Antonio de Elcoyan (*A. dealbata*) y Alhuemanque (*A. melanoxylon*), los cuales fueron establecidos durante el año 2000, en el marco de la implementación de la estrategia de mejoramiento para estas especies. En el caso de *A. dealbata*, atendiendo a su menor edad de rotación, se propone una selección a nivel de procedencias, familias e individuos, de modo de establecer una segunda generación de mejoramiento genético y seleccionar material superior para clonación y masificación de ganancias genéticas. Para *A. melanoxylon* se entregan sólo antecedentes preliminares que deberán ser ratificados a una edad posterior.

Palabras claves: *Acacia melanoxylon*, *A. dealbata*, mejoramiento genético

¹ Instituto Forestal. Chile. E-mail: mmolina@infor.cl

² Instituto Forestal. Chile. E-mail: jpinilla@infor.cl



ACACIA SPECIES GENETIC IMPROVEMENT STRATEGY ADVANCES CENTRAL SOUTHERN CHILE

SUMMARY

Since the 90s, the Chilean Forest Institute has developed researches on genetic improvement and silvicultural techniques for *Acacia* species in order to provide the potential users with information and improved material and promote the use of these species as a forest productive alternative.

The *Acacia* species included in the research activities are of second importance for the forest sector, but concentrate a big potential for entering in high value sawn wood production (*A melanoxyton*) or for degraded soils recovering and a complementary source of wood and pulp for the industry. In the near future these species should play an important role in species diversification on the mills wood supply.

In this paper are presented general issues on the genetic improvement strategy for *Acacia* species in Chile and also are analyzed and discussed preliminary results from 6 years old *A dealbata* and *A melanoxyton* progenies trials established on 2000 as part of the improvement strategy. Considering the shorter rotation of *A dealbata* a provenance, progeny, individual selection is proposed for this species, in order to establish a second generation for improvement. For *A melanoxyton*, only general information is provided to be ratified at a later age of the trails.

Keywords: *Acacia melanoxyton*, *A. dealbata*, genetic improvement

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético forestal es la aplicación de los principios de la herencia, a través de selección y cruzamiento, para desarrollar árboles que cumplan en mejor forma las expectativas de producción del hombre. Es principalmente un proceso de domesticación que supone la selección y propagación de árboles que poseen características deseables. Los detalles específicos del proceso varían dependiendo de su objetivo primario, el que puede estar enfocado a aspectos tan variados como mayor producción de madera, resistencia a plagas y enfermedades u otros.

La mantención de la varianza genética es la clave del mejoramiento. El éxito de un programa de mejoramiento depende de la disponibilidad de suficiente variabilidad genética en la población, para poder seleccionar en función de caracteres específicos, y depende también de la forma en que se ordena y estructura la población para desarrollar el programa a lo largo del tiempo.

Un aspecto fundamental para diseñar una estrategia de mejoramiento genético eficiente es la forma de estructurar la población que será mejorada, con el objeto de llegar a definir los elementos estructurales del ciclo de mejora genética. En este sentido se debe reconocer que el mejorador no sólo actuará a través de la selección direccional, sino también estructurando las poblaciones para identificar y manejar la variabilidad.

En el caso de las especies del género acacia que se cultiva en Chile, los esfuerzos por su mejoramiento genético son relativamente recientes, aún cuando el estudio de las mismas cuenta con algunas décadas de desarrollo. Efectivamente, el Instituto forestal consideró a estas especies en su programa de introducción de especies de los años 60s, identificando a las especies más promisorias para las condiciones de sitio del país, concluyendo que *Acacia dealbata* resulta una opción interesante para terrenos que resultan marginales para el cultivo de eucalipto, siendo apropiada para la recuperación de suelos degradados y como complemento en la producción de pulpa. *A. melanoxylon* presenta un crecimiento y una calidad de madera que la hace adecuada para la producción de madera aserrada de calidad reconocida mundialmente.

Tales estudios se consolidan a partir de los 90s con el establecimiento de ensayos de procedencias y posteriormente con proyectos de masificación y difusión de las especies, así como con el inicio de estudios de mejoramiento genético y de propiedades de la madera.

En este documento se presenta una propuesta de estrategia de mejoramiento genético para especies del género *Acacia*, se analiza el desarrollo de esta estrategia y se aportan antecedentes relacionados con la evaluación de los primeros ensayos de procedencias y progenies que constituyen la población base considerada en su estrategia de mejoramiento.



MATERIAL Y METODO

Estrategia de Mejoramiento

Se analiza los resultados obtenidos en la implementación de una estrategia de mejoramiento genético definida con anterioridad para especies de *Acacia* (Gutiérrez y Molina, 2005).

Tal estrategia corresponde a un enfoque sencillo, desarrollado especialmente para especies, que como las acacias en Chile, concentran un potencial productivo interesante, pero que aún son marginales dentro del sector forestal nacional. Ella se basa en la propuesta de White y Rockwood (1993), desarrollada en Florida para especies de eucalipto de interés secundario y se caracteriza por:

- Generaciones cortas con alta intensidad de selección
- Infusión de material nuevo en cada generación
- Manejo de la población de mejora por polinización abierta
- Pruebas de campo sencillas y multifuncionales (para selección, prueba de progenies y producción comercial de semilla mejorada)

En la figura N° 1 se muestra en forma esquemática la estrategia de mejoramiento para especies de *acacias*



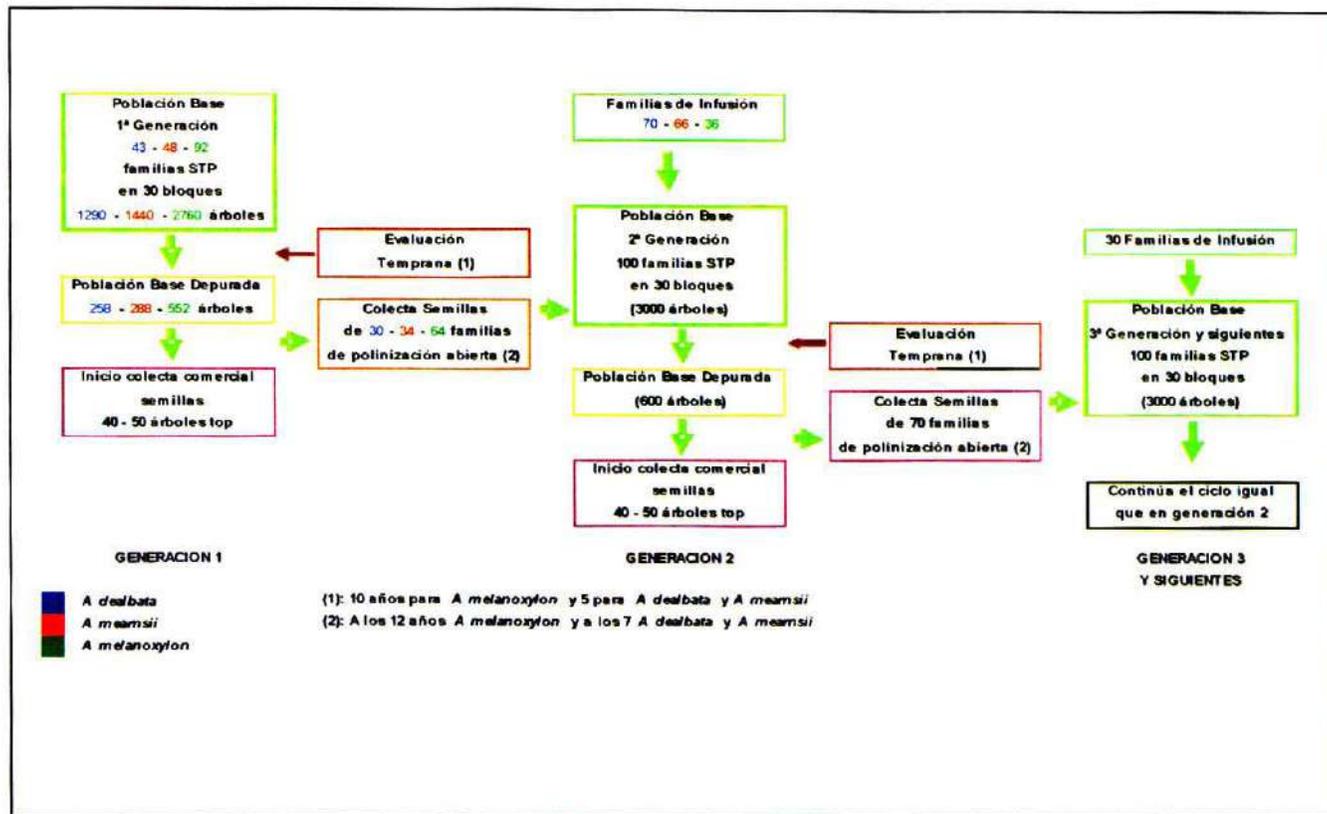


Figura N° 1
ESQUEMA ESTRATÉGICO PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPECIES DE ACACIA

Ensayos de Procedencias y Progenies

Se analiza dos ensayos de procedencias y progenies de *Acacia* establecidos el año 2000. El primero, corresponde a *A. dealbata* y se estableció en el predio San Antonio de Elocoyán, perteneciente a la Empresas Fourcade, en las cercanías de la ciudad de Loncoche (IX Región). El segundo, corresponde a *A. melanoxylon* y se estableció en el predio Alhuanque, perteneciente a la empresa Forestal Natalhue, cercano a la ciudad de Lanco, X Región.

En ambos casos los diseños utilizados corresponden al de bloques al azar, estableciéndose 30 bloques, en cada uno de los cuales cada familia se representa con una parcela de una planta (STP, single tree plot).

El espaciamiento de plantación utilizado fue de 2 x 3 metros. Las procedencias y familias incluidas en cada ensayo son las señaladas en el Cuadro N° 1.

Ambos ensayos fueron medidos en septiembre del año 2006, registrándose la altura total y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de cada planta. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de Tuckey, mediante la utilización del software estadístico Infostat.

Cuadro N° 1
COLECCIÓN DE SEMILLAS DE ACACIA QUE CONFORMAN LA POBLACIÓN BASE DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO

Especie	Proced N°	Progenies	Localización	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)
<i>Acacia dealbata</i>	1	10	Tidbinilla Nat. Res.	ACT	35°27'	148°57'	600
	2	13	Cooma South	NSW	36°29'	149°06'	900
	3	9	22-18 km WNW Bemboka	NSW	36°37'	149°26'	1 035
	4	3	18.6 km S Orford	TAS	42°41'	147°52'	120
	5	8	6-16 km SSE Snug	TAS	43°06'	147°14'	143
	Tot	43					
<i>Acacia melanoxylon</i>	1	8	Mt. Mee-Seilins Rd	QLD	27°06'	152°44'	500
	2	0	Springbrook	QLD	28°14'	153°17'	750
	3	0	Arthurs Ck Rd Yanyean	VIC	37°34'	145°08'	214
	4	3	Rennick	VIC	37°50'	141°00'	60
	5	10	Otways	VIC	38°41'	143°33'	300
	6	10	13.2 km NNW Welshpool	VIC	38°34'	146°22'	250
	7	10	Gellibrand River	VIC	38°43'	143°15'	50
	8	10	25 km SE Mount Gambier	SA	37°57'	140°56'	40
	9	3	King Island	TAS	39°55'	144°02'	60
	10	15	South of Burnie	TAS	41°09'	145°56'	250
	11	5	E Launceston District	TAS	41°11'	147°21'	150
	12	5	St Helens District	TAS	41°18'	147°52'	600
	13	7	W Launceston District	TAS	41°29'	146°42'	300
	14	6	Queenstown District	TAS	41°56'	145°31'	400
Tot	92						

RESULTADOS

Estrategia de Mejoramiento Genético

La estrategia de mejoramiento genético descrita en el la Figura N° 1, adopta como población base de primera generación las pruebas de progenies establecidas en el año

2000 para la cual se introdujo material Australiano que abarcaba gran parte de la distribución natural de las especies.

Con posterioridad, en el año 2005, fueron establecidos nuevos ensayos de progenie con poblaciones australianas donde se agregó nuevas familias de las mejores procedencias de los primeros ensayos. Constituyéndose estos nuevos ensayos en una parte de la primera generación.

En base a la evaluación genética de los ensayos de progenie se iniciará la etapa de selección de los mejores árboles y/o familias para el establecimiento de la población base depurada que conformará parte de la segunda generación de mejora. El complemento de esta última se llevará a cabo con la selección de árboles plus. Para estos fines se ha seleccionado 7 árboles plus y 10 árboles semilleros en el caso de *A. melanoxylon* y en el caso de *A. dealbata* 5 árboles plus y 20 árboles semilleros, los cuales han sido establecidos en ensayos de progenie durante el año 2006.

Estas pruebas a lo largo del tiempo serán intervenidas y darán origen a las restantes poblaciones consideradas en el ciclo de mejoramiento (poblaciones de mejoramiento y poblaciones de producción) y junto con las poblaciones de infusión darán origen a las poblaciones base de las siguientes generaciones.

Las especies del género *Acacia* contempladas en este proyecto, son aún secundarias en el sector forestal chileno en términos de superficie plantada, pero concentran un gran potencial para incorporarse a la producción de madera aserrada, producción de taninos, recuperación de terrenos degradados y como complemento en la producción de pulpa.

Una estrategia de mejoramiento debe ser una propuesta metodológica flexible y eficiente, que maximice las ganancias genéticas por unidad de tiempo y conserve a su vez una variabilidad o amplitud de base genética que asegure un progreso continuo.

La estrategia de mejoramiento propuesta originalmente aconseja desarrollar la selección de primera generación en base a criterios de propósito general (volumen y forma) para posteriormente, en las generaciones siguientes, incluir distintos caracteres, propios de las funciones que cada especie puede desempeñar (tolerancias a agentes abióticos o bióticos).

La premisa asumida en el párrafo anterior, sumada al rápido crecimiento y precocidad reproductiva de las acacias, permitió diseñar una estrategia de mejoramiento simple y de rápido progreso, en función de una base genética amplia y altas intensidades de selección. No obstante, atendiendo a la naturaleza relativamente restringida de la base que conforma este programa, las intensidades de selección no han podido ser muy elevadas, al menos en la primera generación. Esta situación podrá ajustarse a partir de la segunda generación, en la medida que se considere una importante población de infusión.

Ensayos de Procedencias y Progenies

En los Cuadros N^{os} 2 a 9 se presenta los resultados del análisis comparativo para los ensayos de *Acacia dealbata* y *Acacia melanoxylon*.

Cuadro N° 2
RESULTADOS DE SUPERVIVENCIA PARA PROCEDENCIAS EN ENSAYO DE *Acacia dealbata*

Localización <i>Acacia dealbata</i>	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Supervivencia (%)
Tidbinbilla Nat. Res.	ACT	35°27'	148°57'	600	10	1	78,7
Cooma South	NSW	36°29'	149°06'	900	11	2	78,5
22-18 km WNW Bemboka	NSW	36°37'	149°26'	1.035	9	3	77,4
18.6 km S Orford	TAS	42°41'	147°52'	120	3	4	80,0
6-15 km SSE Snug	TAS	43°06'	147°14'	143	8	5	75,0
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	73,3
Promedio General del ensayo							77,6

Para la variable supervivencia el promedio general del ensayo fue 77,6%, el cual fue menor de lo esperado considerando que la especie soporta condiciones de terreno más extremas. La procedencia con mejor supervivencia fue la número 3 que corresponde al Estado de Tasmania. En cambio la supervivencia menor correspondió a la representada por la familia nacional de Antiquina, VIII Región

Cuadro N° 3
RESULTADOS DE DAP POR PROCEDENCIA PARA *Acacia dealbata*

Localización	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Promedio DAP (cm)	Prueba de Tukey			% de familias de la procedencia entre las 10 mejores familias del ensayo	% de los 40 mejores árboles del ensayo que están en la procedencia
								A	B	C		
6-15 km SSE Snug	TAS	43°06'	147°14'	143	8	5	17,12	A			100%	70%
18.6 km S Oxford	TAS	42°41'	147°52'	120	3	4	15,72	A	B		33%	10%
22-18 km WNW Bemboka	NSW	36°37'	149°26'	1.035	9	3	14,66		B		11%	13%
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	12,47			C	0%	3%
Cooma South	NSW	36°29'	149°06'	900	11	2	11,25			C	0%	3%
Tidbinbilla Nat. Res.	ACT	35°27'	148°57'	600	10	1	10,98			C	0%	3%
Promedio General del ensayo							13,34					

Cuadro N° 4
RESULTADOS DE ALTURA POR PROCEDENCIA PARA *Acacia dealbata*

Localización	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Promedio Altura (m)	Prueba de Tukey			% de familias de la procedencia entre las 10 mejores familias del ensayo	% de los 40 mejores árboles del ensayo que están en la procedencia
								A	B	C		
6-15 km SSE Snug	TAS	43°06'	147°14'	143	8	5	16,20	A			63%	53%
22-18 km WNW Bemboka	NSW	36°37'	149°26'	1.035	9	3	15,90	A			44%	25%
18.6 km S Oxford	TAS	42°41'	147°52'	120	3	4	15,33	A			33%	13%
Cooma South	NSW	36°29'	149°06'	900	11	2	12,83			B	0%	5%
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	12,82			B	0%	3%
Tidbinbilla Nat. Res.	ACT	35°27'	148°57'	600	10	1	12,70			B	0%	3%
Promedio General del ensayo							14,27					

Cuadro N° 5

RESULTADOS DE D²H (ESTIMADOR DE VOLUMEN) POR PROCEDENCIA PARA *Acacia dealbata*

Localización	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Promedio D ² H (cm ³)	Prueba de Tukey			% de familias de la procedencia entre las 10 mejores familias del ensayo	% de los 40 mejores árboles del ensayo que están en la procedencia
								A	B	C		
6-15 km SSE Snug	TAS	43°08'	147°14'	143	8	5	0.57	A			100%	70%
18.6 km S Oxford	TAS	42°41'	147°52'	120	3	4	0.46	B			33%	10%
22-18 km WNW Bemboka	NSW	36°37'	149°26'	1.035	9	3	0.38	B	C		11%	13%
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	0.32	C			0%	3%
Cooma South	NSW	36°29'	149°06'	900	11	2	0.21			D	0%	3%
Tidbinbilla Nat. Res.	ACT	35°27'	148°57'	600	10	1	0.19			D	0%	3%
Promedio General del ensayo							0.33					

A partir de las variables DAP y Altura se calculó un estimador de volumen (D²H), para su uso en términos comparativos, para cada una de las procedencias. Por otra parte, de modo de conocer el aporte de cada procedencia al mejor material existente en el ensayo, mejores 10 familias y mejores 40 árboles, se analizó qué porcentaje de cada procedencia participa en ese segmento.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la procedencia 5 del Estado de Tasmania, presenta diferencias significativas con las procedencias restantes tanto para las variables DAP y Altura como D²H. De igual modo esta procedencia ubica a la mayor parte de sus familias (8 familias) dentro de las mejores familias del ensayo y también a los árboles individuales. En estos términos, la procedencia 4, también de Tasmania, es la que en segundo lugar contribuye con el mejor material en el ensayo.

En el caso de las mejores 10 familias, las procedencias nacional Antiquina (99) y las procedencias australianas 2 y 1 no aportan material a nivel familiar. En el caso de aporte en árboles individuales, todas las procedencias aportan, aunque las procedencias de menores crecimientos (con promedio menor al promedio del ensayo) no aportan más de un árbol cada una.

Cuadro N° 6

RESULTADOS DE SUPERVIVENCIA PARA PROCEDENCIAS EN ENSAYO DE *Acacia melanoxylon*

Localización <i>Acacia melanoxylon</i>	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Supervivencia %
Mt. Mee-Sellins Rd	QLD	27°06'	152°44'	500	8	1	3,3
Otways	VIC	38°41'	143°33'	300	9	5	90,0
13.2 km NNW Welshpool	VIC	38°34'	146°22'	250	10	6	84,3
Gellibrand River	VIC	38°43'	143°15'	50	10	7	80,3
25 km SE Mount Gambier	SA	37°57'	140°56'	40	10	8	76,3
King Island	TAS	39°55'	144°02'	60	3	9	95,6
South of Burnie	TAS	41°09'	145°56'	200	11	10	84,8
E Launceston District	TAS	41°11'	147°21'	150	5	11	94,0
St Helens District	TAS	41°18'	147°52'	600	5	12	94,0
W Launceston District	TAS	41°29'	146°42'	300	7	13	92,9
Queenstown District	TAS	41°56'	145°31'	400	5	14	96,0
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	90,0
Promedio General del ensayo							78,9

La supervivencia del ensayo es de 79,8% y se encuentra muy influenciada por la baja proporción de plantas vivas que se obtuvo en la procedencia 1. Si se hace una abstracción de esta procedencia, se observa que en general la supervivencia de las restantes procedencias es superior al 75%, destacándose la procedencia 14 con un 96%.

Se estima que la mortalidad de la procedencia 1 se debería principalmente a que la condición ecológica dada por su latitud original (27°) se aleja demasiado de las condiciones imperantes del sitio de ensayo (sobre los 39° de latitud). Es una procedencia que no responde bien a condiciones de temperaturas medias menores que son las que predominan en la IX Región.

Cuadro N° 7
RESULTADOS DE DAP POR PROCEDENCIA PARA *Acacia melanoxylon*

Localización	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Promedio DAP (cm)	Prueba de Tukey	% de familias de la procedencia entre las 10 mejores familias del ensayo	% de los 40 mejores árboles del ensayo que están en la procedencia	
King Island	TAS	39°55'	144°02'	80	3	9	13,42	A		67%	25%
Queenstown District	TAS	41°56'	145°31'	400	5	14	13,36	A		60%	23%
St Helens District	TAS	41°18'	147°52'	600	5	12	12,72	A B		20%	0%
E Launceston District	TAS	41°11'	147°21'	150	5	11	12,63	A B C		20%	8%
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	12,58	A B C		0%	0%
Otways	VIC	38°41'	143°33'	300	9	5	12,54	A B C		0%	15%
Gelibrand River	VIC	38°43'	143°15'	50	10	7	11,92	B C		10%	8%
South of Burnie	TAS	41°09'	145°56'	200	11	10	11,76	B C		9%	8%
13.2 km NNW Welshpool	VIC	38°34'	146°22'	250	10	6	11,77	B C		0%	5%
W Launceston District	TAS	41°29'	146°42'	300	7	13	11,31	C		14%	10%
Mt. Mee-Sellins Rd	QLD	27°06'	152°44'	500	8	1	9,36		D	0%	0%
25 km SE Mount Gambier	SA	37°57'	140°56'	40	10	8	8,54		D	0%	0%
Promedio General del ensayo							11,78				

Cuadro N° 8
RESULTADOS DE ALTURA POR PROCEDENCIA PARA *Acacia melanoxylon*

Localización	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Promedio ALTURA (m)	Prueba de Tukey	% de familias de la procedencia entre las 10 mejores familias del ensayo	% de los 40 mejores árboles del ensayo que están en la procedencia	
Queenstown District	TAS	41°56'	145°31'	400	5	14	8,35	A		80%	23%
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	8,04	A B		0%	0%
King Island	TAS	39°55'	144°02'	80	3	9	8,02	A B		67%	10%
St Helens District	TAS	41°18'	147°52'	600	5	12	7,78	B C		0%	3%
Otways	VIC	38°41'	143°33'	300	9	5	7,75	B C		0%	15%
E Launceston District	TAS	41°11'	147°21'	150	5	11	7,70	B C		0%	15%
South of Burnie	TAS	41°09'	145°56'	200	11	10	7,61	B C		9%	8%
Gelibrand River	VIC	38°43'	143°15'	50	10	7	7,41	C		0%	10%
13.2 km NNW Welshpool	VIC	38°34'	146°22'	250	10	6	7,38	C		10%	8%
W Launceston District	TAS	41°29'	146°42'	300	7	13	7,35	C		14%	10%
Mt. Mee-Sellins Rd	QLD	27°06'	152°44'	500	8	1	6,56		D	0%	0%
25 km SE Mount Gambier	SA	37°57'	140°56'	40	10	8	6,45		D	0%	0%
Promedio General del ensayo							7,48				

Cuadro N° 9

RESULTADOS DE D²H (ESTIMADOR DE VOLUMEN) POR PROCEDENCIA PARA *Acacia melanoxylon*

Localización	Estado	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	N° prog/proc	N° de Procedencia	Promedio D ² H (cm ²)	Prueba de Tukey	% de familias de la procedencia entre las 10 mejores familias del ensayo	% de los 40 mejores árboles del ensayo que están en la procedencia	
Queenstown District	TAS	41°58'	145°31'	400	5	14	0.170	A		60%	23%
King Island	TAS	39°55'	144°02'	60	3	9	0.160	A B		87%	18%
E Launceston District	TAS	41°11'	147°21'	150	5	11	0.140	A B C		20%	8%
Chile	VIII Región	38°04'	73°23' W	35	1	99	0.140	A B C		0%	0%
Onways	VIC	38°41'	143°33'	300	9	5	0.140	A B C D		11%	15%
St Helens District	TAS	41°18'	147°52'	600	5	12	0.140	B C D		0%	5%
South of Burnie	TAS	41°09'	145°56'	200	11	10	0.120	C D E		0%	13%
Gallibrand River	VIC	38°43'	143°15'	50	10	7	0.120	C D E		10%	5%
13.2 km NNW Welshpool	VIC	38°34'	146°22'	250	10	8	0.120	C D E		10%	8%
W Launceston District	TAS	41°29'	146°42'	300	7	13	0.110	D E		14%	8%
Mt. Mee-Sellins Rd	QLD	27°06'	152°44'	500	8	1	0.100	E		0%	0%
25 km SE Mount Gambier	SA	37°57'	140°56'	40	10	8	0.060	F		0%	0%
Promedio General del ensayo							0.122				

De los resultados se desprende que la procedencia 14 es la que presenta mayores valores tanto en Altura como en D²H, sin embargo en la variable DAP ocupa un segundo lugar, pero sin diferencias significativas con la procedencia 9 que es en términos absoluto la que presenta un mayor promedio para esta variable.

Ambas procedencias, 9 y 14, pertenecen al Estado de Tasmania y contribuyen con un porcentaje mayor al 50% de sus familias en el mejor material genético del ensayo (10 mejores familias).

En este sentido al ver la contribución de las procedencias en los 40 mejores árboles del ensayo, se visualiza que existe aporte de la mayoría de las procedencias. Incluso existe aporte de procedencias que sitúan sus promedios para las variables medidas por debajo del promedio del ensayo para dichas variables.

En este último caso se constituye en un riesgo hacer una selección de familias e individuos de acuerdo sólo a la mejor procedencia o familia.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la primera base genética de las especies consideradas, se visualiza que será necesario aumentar la incorporación de genotipos a través de una población de infusión de modo de aumentar la intensidad de selección.

De acuerdo a la etapa dentro del programa de mejoramiento genético para las especies, se requiere un análisis BLUP para la definición de individuos o familias que pasarían a la segunda generación.

La supervivencia obtenida con *A. dealbata* es bajo lo esperado. Se debe analizar con mayor profundidad las causas de modo que las plantaciones de esta especie puedan ser objeto de los incentivos de la legislación de fomento forestal.

Para *A. dealbata* la mejor procedencia con diferencias significativas sobre las demás es la 5 (6-15 km SSE Snug de Tasmania).

Las mejores procedencias de *A. melanoxylon*, 9 (King Island) y 14 (Queenstown District), se diferencian claramente de las procedencias restantes

Para *A. melanoxylon* se observa que las procedencias del Estado de Queensland (QLD) no presentan una supervivencia adecuada en las áreas potenciales de plantación para la especie en Chile.

En *Acacia dealbata* se visualiza que las procedencias mejores son las que concentran la mayor cantidad del mejor material genético, tanto en lo que se refiere a las 10 mejores familias como en los 40 mejores árboles del ensayo. En cambio en *A. melanoxylon* se produce que este aporte se divide en distintas procedencias, que no necesariamente son sólo las mejores, es decir, la mayoría de las procedencias probadas aportan parte del mejor material genético del ensayo.

A una misma edad, las variables de crecimiento obtenidas para ambas especies marcan claramente la diferencia en las rotaciones esperadas. Este puede ser un factor determinante para la elección de una especie.

Para ambas especies, las procedencias de Tasmania presentan mejores resultados.

REFERENCIAS

- Barner, H.; Ditlevsen, B. y Olesen, K., 1992.** Introduction to Tree Improvement. En: Mejoramiento Forestal y Conservación de Recursos Genéticos Forestales. Tomo I. Manual Técnico N° 14. CATIE-MIREN-PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica. 1995.
- CMG, 1995.** Curso: Aspectos Cuantitativos para el Mejoramiento Genético Forestal. Concepción, 24 al 26 de abril de 1995.
- Gutiérrez, B. y Molina M.P., 2005.** Enfoque Estratégico para el Mejoramiento de Especies del Género *Acacia* en Chile. En: Pinilla, J.; Molina, M. y Gutiérrez, B. (editores). Investigación con *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearmsii* en Chile. Instituto Forestal. Concepción, Chile. Pp: 55-66.
- Ipíñza, R., 1998.** Ciclo de Mejoramiento Genético. En: Curso Mejora Genética Forestal Operativa. Valdivia, 16 al 21 de Noviembre de 1998. Pp: 49-68
- Ipíñza, R. y Gutiérrez, B., 1998.** Estrategia de Mejoramiento y Ganancias Genéticas Esperadas de un Programa de Mejora para *Nothofagus obliqua* y *N. alpina* en Chile. En: Primer congreso Latinoamericano IUFRO, "El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales, desafío del Siglo XXI". Valdivia, 22 al 28 de Noviembre de 1998.
- Pinilla, J.C., 2000.** Descripción y Antecedentes Básicos sobre *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearmsii*. Informe Técnico N°147. INFOR-CORFO. 49p.
- White, T. y Rockwood, D., 1993.** A Breeding Strategy for Minor Species of *Eucalyptus*. En: Actas del Simposio Los Eucaliptos en el Desarrollo Forestal de Chile. Pucón, Chile, 24 al 26 de noviembre de 1993. Pp: 27-42.

ESTIMACIÓN DE COMPONENTES DE VARIANZA Y PREDICCIÓN DE VALORES GENÉTICOS EN POBLACIONES DE ACACIA AZUL USANDO EL ALGORITMO DE CADENAS INDEPENDIENTES

Freddy Mora¹, Sandra Perret², Carlos Alberto Scapim³,
Elias N. Martins⁴ y María Paz Molina⁵

RESUMEN

Diversos estudios han enfatizado las ventajas de la utilización de los métodos de estimación y predicción basados en Máxima Verosimilitud Restringida (REML) y la Mejor Predicción Linear Insesgada (BLUP) en el análisis genético de especies forestales. Por otra parte, existen otras metodologías que permiten la obtención también robusta, tanto de los componentes de varianza como la predicción de valores genéticos, como por ejemplo la inferencia Bayesiana basada en los algoritmos *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC). El presente estudio busca examinar la viabilidad de la obtención de parámetros genéticos y valores predichos en el mejoramiento genético de especies forestales, usando una variante de la metodología MCMC llamado algoritmo de Cadenas Independientes (CI). Para ilustrar el análisis genético Bayesiano se usó un ensayo de procedencias de *Acacia saligna*, establecido en el norte de Chile, en el marco de un proyecto financiado por el Fondo de Desarrollo e Innovación (FDI) y desarrollado por el Instituto Forestal (INFOR). El diámetro medio de copa fue analizado en cada genotipo en un diseño de bloques completos al azar. Las estimaciones de los componentes de varianza y la predicción de los valores genéticos vía CI fueron comparadas con los procedimientos clásicos de estimación/predicción REML/BLUP. En el caso Bayesiano, las distribuciones *a posteriori* de los parámetros se caracterizaron a través del promedio, la mediana y la moda de cada muestra CI *a posteriori* de tamaño 11000. Componentes de varianza y correlaciones intracase fueron muy similares entre ambas metodologías; tal correlación tuvo un valor de 27,33% (REML) y de 26,99%-28,48% (IC). BLUP y la predicción Bayesiana entregaron valores genéticos similares; no se evidenciaron cambios en el ordenamiento de los genotipos (ranking) entre un procedimiento y otro. Ambas metodologías apuntan como las mejores procedencias a Greenough River, Lancelin y Ravensthorpe 2. Se evidenció una alta asociación entre REML/BLUP y CI, con ello los autores recomiendan ampliamente la utilización de inferencia Bayesiana en el análisis genético de especies perennes.

Palabras clave: Cadenas Independientes, Bayes, REML/BLUP, modelos mixtos.

¹ Departamento de Agronomía, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá-Paraná, Brasil. morapoblete@gmail.com

² Instituto de Investigación Forestal, INFOR. sperret@infor.ci

³ Departamento de Agronomía, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá-Paraná, Brasil. cascapim@uem.br

⁴ Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá-Paraná, Brasil. emartins@uem.br

⁵ Instituto de Investigación Forestal, INFOR. mmolina@infor.ci

ESTIMATION OF VARIANCE COMPONENTS AND PREDICTION OF BREEDING VALUES IN BLUE-LEAF WATTLE POPULATIONS BY USING INDEPENDENCE CHAIN ALGORITHM

SUMMARY

Several studies have emphasized the advantages of Best Linear Unbiased Predictor method (BLUP) for the genetic analysis of perennial species, and the Restricted Maximum Likelihood principle (REML) for the estimating of variance components. On the other hand, there are others methods that allow robust estimates of the variance components and the prediction of breeding values, i.e. Bayesian framework: inference based on Markov Chain Monte Carlo algorithms (MCMC). The present study aimed to examine genetic parameters, including the prediction of breeding values, by using Independence Chain algorithm (IC), a variant of the MCMC method. A provenance trial of *Acacia saligna*, localized in northern Chile, was used to illustrate the Bayesian approach. This field trial was established by Instituto Forestal (INFOR), which is carrying out a collaborative project sponsored by the Fondo de Desarrollo e Innovación (FDI). Crown diameter was analyzed in each genotype considering a randomized complete block design. The estimates of variance components and the prediction of breeding values – based in the Bayesian context, were compared with the classic procedures REML/BLUP. In the Bayesian case, the posterior distributions of the parameters were characterized by the mean, median and mode, which were generated from samples IC with size 11000. The Bayesian and REML approaches provided very similar estimates of variance components and intra-class correlation coefficients; the intra-class correlations were 27.33% (REML) and 26.99%-28.48% (IC). BLUP and the Bayesian prediction provided similar breeding values; no change was evidenced between the ranking REML/BLUP and IC. The provenances Greenough River, Lancelin and Ravensthorpe 2 were the best, determined by both prediction methods. It was evidenced a high association (correlation) between REML/BLUP and IC, so, we suggest that the Bayesian inference (implemented with the independence chain algorithm) may be broadly used in the genetic evaluation of forest trees.

Keywords: Independence Chain, Bayes, REML/BLUP, mixed models.

INTRODUCCIÓN

Numerosos trabajos han mostrado que el método de la Máxima Verosimilitud Restringida (REML; del inglés: *Restricted Maximum Likelihood*), para la estimación de componentes de varianza, es actualmente el procedimiento idóneo para la obtención del Mejor Estimador Lineal Insesgado (BLUE; del inglés: *Best Linear Unbiased Estimator*) y de la Mejor Predicción Lineal Insesgada (BLUP; del inglés: *Best Linear Unbiased Prediction*) en modelos lineales mixtos, con datos de observaciones fenotípicas no balanceado, cuyas estimativas no son sesgadas.

Perri y lemma (1999) mencionan que en el método REML, la función de verosimilitud es dividida en dos partes independientes, una referente a los efectos fijos y otra a los efectos aleatorios, de manera que la función de verosimilitud es dada por la suma de las funciones de verosimilitud de cada parte. El método REML supone normalidad, es iterativo y entrega siempre estimaciones no negativas de los componentes de varianza. Además, este método considera la pérdida de grados de libertad debido a los efectos fijos, entregando estimadores insesgados y de varianza mínima para datos balanceados.

Para la obtención de BLUE, que es la estimación de los efectos fijos, y de BLUP, particularmente relacionados al valor genético, se debe conocer los componentes de varianza asociados al modelo (experimento), los cuales deben ser estimados con la mejor precisión posible (Mora *et al.*, 2007a). Los componentes de varianza vía REML pueden ser obtenidos por medio de los procedimientos MIXED y VARCOMP de SAS® (Astorga y Mora, 2005; Mora y Scapim, 2007), y las soluciones de los efectos aleatorios (BLUP) a través del procedimiento MIXED, que puede establecerse en un único proceso iterativo de estimación-predicción (Mora y Arnhlod, 2006).

Tanto los componentes de varianza como la predicción de valores genéticos de los árboles forestales pueden ser obtenidos a través de métodos de inferencia Bayesiana (Mora *et al.*, 2007b), cuya metodología es implementada a través de los Métodos de Monte Carlo – Cadenas de Markov (MCMC; del inglés: *Markov Chain Monte Carlo*). El análisis Bayesiano se basa en el conocimiento de la distribución *a posteriori* de los parámetros genéticos y viabiliza la conformación de regiones de credibilidad para las estimativas de tales parámetros (Gianola y Fernando, 1986).

Wolfinger y Kass (2000) examinaron regiones de credibilidad para funciones generales de componentes de varianza usando inferencia Bayesiana en un algoritmo de cadena independiente (de la libre traducción de *Independence Chain Algorithm*). Aquí, la distribución base para los efectos aleatorios es exacta, de modo que las muestras derivadas de los métodos MCMC son rechazadas solamente si no están en el espacio del parámetro, lo cual puede ocurrir, por ejemplo, si un componente de varianza individual es estimado con valor negativo (Mora y Arnhlod, 2006). Con ello el algoritmo de cadenas independientes es un caso especial de muestreo de rechazo (Tierney, 1994).

El presente trabajo busca examinar la viabilidad de la obtención de parámetros genéticos y valores predichos en el mejoramiento genético de especies perennes, a través

de la utilización de una variante de la metodología MCMC llamado algoritmo de Cadenas Independientes (CI).

MATERIAL Y MÉTODOS

Ensayo y Diseño Experimental

Para ilustrar el análisis genético Bayesiano se utilizó un ensayo de catorce procedencias Australianas de *Acacia saligna*, establecido en el norte de Chile, en el marco de un proyecto financiado por el Fondo de Desarrollo e Innovación (FDI) y desarrollado por el Instituto Forestal (Perret y Mora, 1999; Mora y Meneses, 2002; Mora *et al.*, 2004).

El ensayo de procedencias fue establecido en la Comunidad Agrícola de Cuz-Cuz, en Illapel, centro norte de Chile (31° 63' LS; 71° 22' LO; ubicación interior con 244 mm de precipitación media anual), en un diseño de bloques completos al azar, con parcelas de 20 árboles, 3 bloques, y todos los árboles fueron plantados a un distanciamiento de 2 x 3 m. Mediciones de Diámetro Medio de Copa fueron considerados en el análisis genético de procedencias.

El origen de cada procedencia es mostrado en el Cuadro N° 1.

Cuadro 1
PROCEDENCIAS DE *Acacia saligna* CONSIDERADAS
EN EL ANÁLISIS BAYESIANO Y FRECUENTISTA

Procedencia	Latitud S	Longitud O	Altitud (m)
Ravensthorpe 1	33° 35'	120° 08'	150
Kelmscott	32° 07'	116° 02'	150
Sanford River	27° 20'	116° 24'	320
Greenough River	28° 42'	115° 02'	175
Geraldton	28° 35'	114° 37'	200
Murchison River	27° 51'	114° 37'	180
Mingenew	29° 12'	115° 26'	180
Lake Indoon	29° 52'	115° 39'	100
Moora	30° 34'	116° 01'	200
Muntadgin Rock	31° 45'	118° 35'	320
Lake Muir	34° 26'	116° 40'	170
Boyatup Hill	33° 14'	123° 02'	183
Lancelin	31° 01'	115° 20'	10
Ravensthorpe 2	33° 35'	120° 03'	234

REML/BLUP: Análisis de Modelos Mixtos Clásico

Para la descripción de los valores observados se utilizó el siguiente modelo lineal estadístico, que incluye factores fijos y aleatorios, apropiados para la metodología de modelos mixtos:

$$y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon$$

Donde: y es el vector de las respuestas observadas
 X es la matriz de diseño de los efectos fijos.
 β corresponde al vector de parámetros de efectos fijos,
 Z es la matriz de incidencia de los efectos aleatorios,
 γ es el vector de efectos aleatorios de procedencias y
 ε es el vector de residuos.

Se asume que γ y ε son independientes y tienen distribución normal univariada con media 0 y matriz de varianzas G y R , respectivamente.

Las ecuaciones de modelos mixtos son las siguientes:

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix}$$

Las ecuaciones descritas de los modelos mixtos, también pueden ser formuladas de la siguiente manera:

$$\hat{\beta} = (X'V^{-1}X)^{-1} X'V^{-1}y$$

$$\hat{\gamma} = GZ'V^{-1}(y - X\hat{\beta})$$

Donde: $^{-1}$ es una inversa generalizada de la matriz correspondiente,
 V^{-1} es la inversa de la matriz de varianzas de y , definida como $V = ZGZ' + R$.

La correlación intraclase fue estimada a partir de la siguiente expresión:

$$\Gamma_{ic} = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_\varepsilon^2}$$

Donde: $\hat{\sigma}_p^2$ y $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ son los componentes de varianzas del efecto de procedencias y residual, respectivamente, estimados vía máxima verosimilitud restringida (REML).

Las estimaciones de componentes de varianzas y las soluciones de los efectos aleatorios fueron calculados en un único proceso iterativo de estimación-predicción, utilizando el procedimiento PROC MIXED de SAS ® 8.02 (SAS Institute, 1996).

Inferencia Bayesiana

En inferencia Bayesiana, todos los parámetros del modelo son considerados como variables aleatorias (Mora y Arnhold, 2006). Los componentes de varianzas, la heredabilidad y los valores genéticos predichos obtenidos por el método Bayesiano se basaron en el promedio, la mediana y la moda de cada muestra *a posteriori* de tamaño 11000, generada por el algoritmo de cadena independiente, variante de los métodos MCMC (Markov Chain Monte Carlo). El procedimiento PROC MIXED con opción PRIOR se utilizó para este análisis, construyéndose un conjunto de datos con las informaciones *a priori* de los parámetros (densidad base).

De acuerdo al estudio de Mora y Arnhold (2006) y Mora et al. (2007a), se define como el vector de componentes de varianza. La función de densidad conjunta de (β, γ, θ) es:

$$f(\beta, \gamma, \theta | y) = f(\beta, \gamma | \theta, y) f(\theta | y)$$

La especificación de cada distribución a priori de los elementos del modelo es:

$$f(y | \beta, \gamma, \sigma_\epsilon^2, \sigma_p^2) \sim \mathcal{N}(y | \beta + Z\gamma, R)$$

$$f(\beta) \sim \text{Uniforme}$$

$$f(\gamma | \sigma_p^2) \sim \mathcal{N}(0, G)$$

$$f(\sigma_p^2) \sim I(\alpha, b)$$

$$f(\sigma_\epsilon^2) \sim \mathcal{A}(c, d)$$

IG corresponde a distribución gamma invertida, con parámetros *a priori* obtenidos a través del cuadro de densidades base de un análisis preliminar, utilizando distribución no informativa de Jeffreys. La función de densidad *a priori* del parámetro de efecto fijo es asumida como uniforme (opción FLAT).

La distribución a posteriori conjunta es definida como:

$$f(\beta, \gamma, \sigma_\epsilon^2, \sigma_p^2 | y) \propto f(\beta) f(\gamma | \sigma_p^2) f(\sigma_p^2) f(\sigma_\epsilon^2) f(y | \beta, \gamma, \sigma_\epsilon^2, \sigma_p^2)$$

Las muestras a posteriori fueron analizadas utilizando los procedimientos PROC AUTOREG y UNIVARIATE (SAS Institute, 1996). La moda de cada muestra fue determinada de acuerdo al procedimiento de densidad de Kernel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los componentes de varianza y la correlación genética intraclase vía máxima verosimilitud restringida (REML) e inferencia Bayesiana, basada en el algoritmo de cadenas independientes, son mostrados en el Cuadro N° 2. Cabe destacar la inexistencia de periodo de descarte (*burn-in*) en el algoritmo de cadenas independientes, siendo una ventaja del método al compararlo con los métodos tradicionales de Gibbs (Wolfinger y Kass, 2000).

Los métodos denominados Cadenas de Markov - Monte Carlo (MCMC), permiten el análisis eficiente de complejas superficies de verosimilitud y el cálculo de las distribuciones *a posteriori* Bayesianas (Mora et al., 2007b). Por esta razón, Walsh (2001) mencionó que en las próximas décadas existirá una fuerte tendencia en el uso de tales procedimientos, reemplazando a su contraparte basada en la función de verosimilitud. El enfoque Bayesiano ha sido también aplicado para examinar la heterogeneidad en muestras genéticas (Roeder et al., 1998), evaluar la diversidad genética (Holsinger, 1999), examinar filogenia (Papini et al., 2007), y en el mapeo de loci de características cuantitativas (QTL; del inglés: *Quantitative Trait Loci*) (Broman y Speed, 2002).

Los componentes de varianza y correlaciones intraclase fueron muy similares entre ambas metodologías. Tal correlación tuvo un valor de 27,33% y de 26,99% - 28,48%, para los procedimientos REML y Bayesiano, respectivamente. George et al. (2006), confirmó una considerable variación genética dentro de poblaciones de *Acacia saligna*.

BLUP y algoritmo CI, entregan valores genéticos similares, no evidenciándose cambios en el ordenamiento de los genotipos (ranking) entre un procedimiento y otro (Cuadro N° 3). Esto fue confirmado a través de los valores de correlación de Spearman, entre BLUP y cada variable considerada en la metodología Bayesiana, los cuales fueron altos y altamente significativos ($p < 0,01$) (datos no mostrados). Nogueira *et al.* (2003), en un análisis comparativo entre inferencia Bayesiana y Frecuentista de un modelo lineal mixto, trabajando con animales encontró valores divergentes entre los componentes de varianza residuales, con altas desviaciones estándar de las varianzas y valores genéticos, utilizando el algoritmo de muestreo de Gibbs, y observó una divergencia importante en el ordenamiento de los genotipos.

En el presente estudio los componentes de varianza son estimados (desconocidos), por lo que, de acuerdo con Littell *et al.* (1996), la mejor predicción lineal insesgada de los valores genéticos y la mejor estimación lineal no sesgada de los efectos fijos son empíricos, EBLUP (*empirical best linear unbiased predictor*) y EBLUE (*empirical best linear unbiased estimator*), respectivamente. Cabe destacar que BLUP es un procedimiento que presenta varias propiedades ventajosas para la predicción genética, el cual es utilizado ampliamente en los programas de evaluación de árboles forestales. Montaldo (2006) menciona las propiedades de BLUP: Mejor (*Best*) – significa varianza mínima de predicción, Lineal (*Linear*) – significa que las predicciones son funciones lineales de las observaciones, Insesgado (*Unbiased*) – significa que el valor esperado de las predicciones obtenidos con el modelo lineal son iguales al valor esperado del promedio de los valores genéticos, condicionado a los datos, y Predicción (*Prediction*) – por que incluye predicción de los valores genéticos aleatorios.

En el presente estudio, ya que los procedimientos de predicción entregan valores genéticos similares, ambas metodologías apuntan como las mejores procedencias a Greenough River, Lancelin y Ravensthorpe 2, indistintamente (Cuadro N° 3). Mora y Perret (2007) mencionan que dentro del contexto del mejoramiento forestal, los métodos Bayesianos pueden ser utilizados eficientemente en la estimación de componentes de varianza, incluyendo la heredabilidad y las correlaciones genéticas, y en la predicción de los valores genéticos.

El análisis Bayesiano es basado en la distribución *a posteriori* de los parámetros genéticos y viabiliza la conformación de regiones de credibilidad para las estimativas de tales parámetros (Gianola y Fernando, 1986). En el presente estudio, las regiones de credibilidad pueden ser conformadas para cada valor genético, tomando en consideración las desviaciones estándar de cada predicción, las cuales son obtenidas directamente de las distribuciones *a posteriori*.

El enfoque Bayesiano implementado a través de los diferentes métodos MCMC tal como el muestreo Gibbs, o a través del algoritmo de Cadenas Independientes (como estudiado en el presente artículo), ha mostrado ser apropiado para el análisis tanto de características cuantitativas como categóricas en los programas de mejoramiento (Van Tassel *et al.*, 1998).

La fuerte asociación entre BLUP y el enfoque Bayesiano ha sido ampliamente reportado en la literatura y Blasco (2001) demostró que BLUP es un estimador Bayesiano construido



usando una información *a priori* uniforme para los efectos ambientales (en este caso bloques) y una distribución *a priori* normal para los efectos genéticos.

Finalmente, Mora y Perret (2007) en un estudio similar, pero trabajando también con un modelo de árboles individuales (*Animal Model*) de eucalipto, destacaron las ventajas de la predicción Bayesiana, ya que lleva en consideración la variabilidad existente en los parámetros genéticos a través de la estimación de las regiones de credibilidad (o intervalos de confianza en el contexto tradicional). Los autores evidenciaron mayores intensidades de selección al utilizar las regiones de credibilidad (Bayesianos) de los efectos genéticos.

Cuadro N° 2
COMPONENTES DE VARIANZA Y CORRELACIÓN INTRACLASE VÍA MÁXIMA VEROSIMILITUD RESTRINGIDA (REML) E INFERENCIA BAYESIANA, VÍA ALGORITMO DE CADENAS INDEPENDIENTES

Estimativa	REML	BAYESIANO (Cadenas Independientes)			
		Media	Mediana	Moda	DE ¹
Varianza de Procedencias ($\hat{\sigma}_p^2$)	438,34	480,2657	451,5012	414,9731	168,4781
Varianza Residual ($\hat{\sigma}_e^2$)	1165,35	1171,553	1166,944	1153,097	83,18331
Correlación Intraclass (Γ_{II})	0,2733	0,2848	0,2786	0,2699	0,06893

¹DE: Desviación estándar

Cuadro N° 3
VALORES GENÉTICOS DEL EFECTO DE PROCEDENCIAS DE ACACIA, CONSIDERANDO LA MEJOR PREDICCIÓN LINEAR NO SESGADA (BLUP) Y LA INFERENCIA BAYESIANA, VÍA ALGORITMO DE CADENAS INDEPENDIENTES

Procedencia	BLUP	PREDICCIÓN BAYESIANA (Cadenas Independientes)			
		Media	Mediana	Moda	DE ¹
Ravensthorpe 1	-6,436	-6,545	-6,630	-6,533	9,9
Kelmscott	-7,768	-7,697	-7,805	-8,481	9,4
Sanford River	0,444	0,580	0,515	0,680	9,6
Greenough River	14,789	14,828	14,670	13,107	9,6
Geraldton	-14,739	-14,664	-14,645	-15,423	9,4
Murchison River	-3,829	-3,722	-3,823	-4,573	9,4
Mingenew	-8,900	-8,751	-8,727	-9,568	9,6
Lake Indoon	-7,313	-7,127	-7,061	-7,396	9,5
Moora	-0,032	-0,005	-0,080	-0,888	10,4
Muntadgin Rock	-6,992	-6,843	-6,937	-7,900	10,3
Lake Muir	-21,618	-21,558	-21,565	-23,044	10,1
Boyatup Hill	-18,188	-18,044	-18,036	-19,041	10,1
Lancelin	34,369	34,399	34,289	35,654	9,7
Ravensthorpe 2	46,215	46,264	46,014	44,901	10,3

¹DE: Desviación estándar

CONCLUSIONES

La inferencia Bayesiana, vía la variante de los métodos MCMC, cadenas independientes, puede ser utilizada eficientemente en el análisis genético de especies forestales. A la luz de los resultados, se recomienda ampliamente la utilización de inferencia Bayesiana, vía este algoritmo, del mismo modo que el análisis clásico de modelos lineales mixtos vía REML/BLUP.

REFERENCIAS

- Astorga, M. y F. Mora, 2005.** Componentes de Varianza e Interacción Variedad-sitio del Vigor, Producción y Productividad de *Olea europaea*, en Chile. *Cerne* 11:25-33.
- Blasco, A, 2001.** The Bayesian Controversy in Animal Breeding. *Journal of Animal Science* 79:2023-2046.
- Broman, K.W. and T.P. Speed, 2002.** A Model Selection Approach for the Identification of Quantitative Trait loci in Experimental Computing time can be Intensive within each Sweep of Crosses. *J R Stat. Soc.* 64:641-656.
- Gianola, D. and R.L. Fernando, 1986.** Bayesian Methods in Animal Breeding Theory. *Journal of Animal Science* 63:217-244.
- George, N., Byrne, M., Maslin, B. and Yan, B., 2006.** Genetic Differentiation among Morphological Variants of *Acacia saligna* (Mimosaceae). *Tree Genetics and Genomes* 2:109-119.
- Holsinger, K.E., 1999.** Analysis of Genetic Diversity in Geographically Structured Populations: A Bayesian Perspective. *Hereditas* 130:245-255.
- Littell, R.C., G.A. Milliken, W.W. Stroup, and R.D. Wolfinger, 1996.** SAS System for Mixed Models. SAS Institute Inc., Cary, North Caroline, USA. 633 pp.
- Montaldo, H.H., 2006.** Genetic engineering applications in animal breeding. *Electronic Journal of Biotechnology* [online]. April 2006, vol. 9, no. 2. Available from Internet: <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol9/issue2/full/7/>
- Mora, F. y E. Arnhlod, 2006.** Inferencia Bayesiana y Metodología de Modelos Lineales Mixtos Aplicados al Mejoramiento del Maíz. *Cien. Inv. Agr.* 33:217-223.
- Mora, F. y C.A. Scapim, 2007.** Predicción de Valores Genéticos del Efecto de Poblaciones de Maíz Evaluadas en Brasil y Paraguay. *Agricultura Técnica* 67(2):139-146.
- Mora, F., O. Pupim-Junior, y C.A. Scapim, 2007a.** Predicción del Efecto de Cultivares de Algodón en la Presencia de Interacción Genotipo-Ambiente. *Cien. Inv. Agr.* 34:11-19.
- Mora, F. y S. Perret, 2007.** Aplicación de Técnicas Bayesianas en el Análisis Genético de Árboles Forestales. *Bosque* 28(3).
- Mora, F., S. Perret, C.A. Scapim, E.N. Martins, and M.P. Molina, 2007b.** Source-dependent Blooming Variability of *Eucalyptus cladocalyx* in the Region of Coquimbo, Chile. *Cien. Inv. Agr.* 34(2):99-106.

Mora, F. y R. Meneses, 2002. *Acacia saligna* en Zonas Áridas, con Riego más Forraje para el Ganado. Tierra Adentro 47:50-51.

Mora, F., S. Perret y R. Meneses, 2004. Selección de Procedencias de *Acacia saligna*: Clave para Obtener más Forraje. Tierra Adentro 54:38-40.

Nogueira, D.A., T. Sáfadi, E. Bearzoti and J. S. S. Bueno-Filho, 2003. Análises Clássica e Bayesiana de um Modelo Misto Aplicado ao Melhoramento Animal: Uma Ilustração. Ciênc. Agrotec. 27:1614-1624.

Papini, A., F. Banci and E. Nardo, 2007. Molecular Evidence of Polyphyly in the Plant Genus *Carum* L. (Apiaceae). Genet Mol Biol 30(2):475-482.

Perret, S. y F. Mora, 1999. *Acacia saligna*: su Impacto en el Norte Chico. Panorama sectorial. Revista Chile Forestal 274:34-36.

Perri, S.H.V. and A.F. Iemma, 1999. Procedure of Software SAS® for the Analysis of Mixed Models. Sci. agric. 56(4):959-967.

Roeder, K., M. Escobar and J.B. Kadane, 1998. Measuring Heterogeneity in Forensic Databases using Hierarchical Bayes Models. Biometrika 85:269-287.

SAS INSTITUTE, 1996. Statistical Analysis System: User's Guide. Cary: SAS Institute, 1996. 956p.

Tierney, L., 1994. Markov Chains for Exploring Posterior Distributions (with discussion). Annals of Statistics, 23: 1701-1762.

Van Tassell, C.P., L.D. Van Vleck and K.E. Gregory, 1998. Bayesian Analysis of Twinning and Ovulation Rates using a Multiple-trait Threshold Model and Gibbs Sampling. Journal of Animal Science 76:2048-2061.

Wolfinger, R. D. and R. E. Kass, 2000. Non-conjugate Bayesian Analysis of Variance Component Models. Biometrics, 56: 768-774.

MICROPROPAGACIÓN DE ÁRBOLES SUPERIORES DE *Acacia melanoxylon* R. BR.

Oriana Ortiz¹; María Elisa González²; Laura Koch³

RESUMEN

Acacia melanoxylon R. Br. es una especie forestal cuya madera exhibe interesantes características para su utilización industrial. Sumado a lo anterior, presenta también adecuadas tasas de crecimiento, que la posicionan como una alternativa de cultivo de gran valor para diversificar la producción forestal nacional.

La situación anterior ha motivado que se la considere como objeto de investigaciones tendientes a maximizar su potencial productivo. Entre tales investigaciones, en el marco del proyecto FDI-CORFO—“Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a Especies de Acacia Probadas en Chile”, se desarrolló procedimientos para posibilitar su reproducción vegetativa mediante técnicas de cultivo *in vitro*.

En el documento se describe el procedimiento desarrollado para clonar árboles plus adultos de *Acacia melanoxylon*, el cual permitió establecer cultivos *in vitro* en el 50% de los genotipos utilizados. Se discute los resultados obtenidos en las fases de inducción, multiplicación y enraizamiento de material vegetal adulto, concluyéndose que las técnicas de micropropagación constituyen una valiosa herramienta para multiplicar y masificar árboles selectos de esta especie.

Palabras claves: *Acacia melanoxylon*, propagación vegetativa, cultivo *in vitro*.

¹ Instituto Forestal. Chile. E-mail: oortiz@infor.cl

² Instituto Forestal. Chile. E-mail: mgonzalez@infor.cl

³ Instituto Forestal. Chile. E-Mail: lkoch@infor.cl

MICROPROPAGATION IN SUPERIOR *Acacia melanoxylon* R.BR. TREES

SUMMARY

Acacia melanoxylon R.Br. is a forest species whose wood exhibits interesting characteristics to industrial use. It also presents suitable growth rates that position it as an alternative forest culture of great value to diversify the national forest production.

The previous statement has motivated that acacia is considered an interesting species for research to maximize its productive potential. Among such studies, within the framework of project FDI-CORFO «Massive Propagation and Development of Productive Options on the basis of Proven Species of Acacia in Chile», procedures were developed to make possible their vegetative propagation through *in vitro* techniques.

In this document, is described the developed procedure to micropropagate adult trees of *Acacia melanoxylon*, which allowed to establish *in vitro* cultures in 50% of the tested genotypes. The results obtained in the induction, multiplication and rooting phases of adult vegetal material are discussed, concluding that the micropropagation techniques are a valuable tool to multiply and to propagate selected trees of this species.

Keywords: *Acacia melanoxylon*, vegetative propagation, *in vitro*-culture.

INTRODUCCIÓN

En Chile, se ha introducido diversas especies de acacias, las que se han destacado por mostrar una gran adaptabilidad a diferentes condiciones de sitio, exhibiendo altas tasas de crecimiento y variados usos para su madera.

Acacia melanoxylon R. Br., particularmente, presenta una madera de muy buena calidad, apropiada para ser usada en la elaboración de productos de alto valor, lo que sumado a sus adecuadas tasas de crecimiento, la posicionan como una alternativa de gran interés económico en la industria forestal nacional (Pinilla *et al.*, 2005).

En atención a estas características, *A. melanoxylon* fue una de las especies consideradas en el proyecto FDI-CORFO "Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a Especies de Acacia Probadas en Chile", donde se ha desarrollado diversas investigaciones tendientes a maximizar su potencial productivo. Una línea de investigación relevante, es la identificación y selección de árboles superiores en plantaciones locales y el desarrollo de procedimientos para posibilitar su reproducción vegetativa, mediante técnicas de cultivo *in vitro*.

La obtención de múltiples réplicas vegetativas de individuos selectos, permitirá disponer de material apropiado para establecer plantaciones que puedan ser manejadas bajo esquemas de silvicultura clonal, aprovechando de esta manera las ventajas productivas que se asocian al uso de la propagación vegetativa y silvicultura clonal de especies forestales.

La técnica de cultivo *in vitro*, seleccionada fue la micropropagación por vía organogénica, que conlleva la producción de plantas a través de la formación de brotes que deben ser enraizados en un proceso de varias etapas (Bhojwani y Razdan, 1983; Chalupa, 1987; Smith, 1997).

La micropropagación como técnica, ofrece el potencial de lograr altas tasas de multiplicación, reversión y mantención de la juvenilidad y producción de plantas con estructura radicular uniforme (Ahuja, 1993; Francllet *et al.*, 1987; Libby y Ahuja, 1993; Viera *et al.*, 1992). Desde el punto de vista del mejoramiento genético, la regeneración de plantas desde árboles adultos, permite capturar y transferir todo el potencial genético del genotipo seleccionado (Ikemori *et al.*, 1994; Merkle y Dean, 2000; Talbert *et al.*, 1993).

Diversos estudios de micropropagación en acacias, coinciden en que es difícil establecer cultivos de árboles adultos debido a la contaminación de los explantes, especialmente cuando estos provienen de la copa del árbol (Beck *et al.*, 1998 y 2000; Quoirin *et al.*, 2001). No obstante, se ha logrado iniciar cultivos a través de material obtenido de rebrotes de tocón (Beck *et al.*, 1998) y a través de cultivo de meristemas (Beck *et al.*, 2000).

Jones y Smith (1988), establecieron cultivos *in vitro* de *Acacia melanoxylon*, utilizando segmentos nodales de estacas enraizadas en vivero, obtenidas de rebrotes de tocón de un árbol adulto. Los explantes, inicialmente desarrollaron brotes axilares cuyas hojas mostraban una morfología de estado adulto (filodios), que al cabo de un tiempo se caían dejando un

tallo inadecuado para enraizamiento. La adición de reguladores de crecimiento al medio de cultivo, especialmente de citoquininas, mejoró el crecimiento de los brotes axilares y disminuyó la clorosis de las hojas.

Jones (1986), menciona que material juvenil de la especie crece bien en cultivos *in vitro*, mostrando multiplicación de brotes y enraizamiento espontáneo, sin requerir del uso de reguladores de crecimiento. Las plantas micropropagadas, tampoco presentaban problemas en la etapa de aclimatación y posterior crecimiento en vivero.

El propósito de esta investigación, fue desarrollar un procedimiento de micropropagación que permitiera regenerar plantas de árboles adultos de *Acacia melanoxylon* específicos, previamente seleccionados de acuerdo a sus características fenotípicas superiores. Los cultivos fueron establecidos a partir de brotes epicórmicos, se evaluó el efecto de diferentes medios de cultivo, en cuanto a su composición y reguladores de crecimiento, sobre la calidad del cultivo y tasas de enraizamiento obtenidas, finalmente se implementó un procedimiento de aclimatación de plantas micropropagadas.

MATERIAL Y METODO

Material Vegetal y Establecimiento de Cultivos

En el proyecto fueron seleccionados 12 árboles superiores de *Acacia melanoxylon*, en distintas localidades distribuidas entre las Regiones del Bio Bio y de Los Lagos. Se colectó trozos de ramas de los árboles, de entre 1 a 4 cm de diámetro y 30 cm de longitud. Este material fue lavado con detergente líquido (Quix®), colocado en frascos con perлита y agua previamente esterilizados y llevado a una sala acondicionada para estimular la formación de brotes epicórmicos. Las condiciones ambientales fueron 22° C de temperatura, humedad relativa sobre 80% y fotoperiodo de 16 horas luz.

Los brotes epicórmicos obtenidos, fueron seccionados en segmentos nodales y apicales de 1 a 2 cm, que tuvieran al menos un punto de crecimiento. La esterilización fue realizada con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 10% (v/v) por 10 minutos, seguida de cuatro enjuagues de 10 minutos cada uno, con agua destilada estéril.

El cultivo fue realizado en el medio nutritivo MS (Murashige y Skoog, 1962), complementado con 0,1 mg/L de tiamina, 0,1 mg/L de piridoxina, 0,5 mg/L de ácido nicotínico, 100 mg/L de m-inositol, 6 g/L de agar y 3% de sacarosa. El medio fue adicionado con 1 μM de BAP y 0,01 μM de ANA.

Los explantes fueron cambiados a medio nutritivo fresco cada 21 días, permaneciendo durante cuatro meses en el medio de inducción.

En todos los medios utilizados, el pH fue ajustado en $5,8 \pm 0,05$, antes de su esterilización en autoclave a 121°C y 0,1MPa, durante 20 minutos. Los cultivos fueron mantenidos en una cámara de crecimiento a 22 ± 2 °C con 16 horas de fotoperiodo, usando lámparas fluorescentes ($57 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR).

Multiplicación de Brotes

De acuerdo a observaciones preliminares, se probó cuatro tratamientos de multiplicación. En el primero (MS1) se utilizó el medio de cultivo de la etapa anterior, mientras que para el segundo (MS2) se formuló un medio constituido por las sales minerales de medio MS complementado con las vitaminas de White (1943). El tercer tratamiento correspondió a la formulación del medio nutritivo Lainé y David (1994). En el cuarto tratamiento, se evaluó el cultivo en forma alternada de los medios MS1 y MS2.

Los medios fueron adicionados con 20 g/L de sacarosa, 7 g/L de agar y 1 μ M de BAP más 0,01 μ M de ANA.

El ensayo, se inició una vez que los brotes *in vitro* mostraron desarrollo de hojas bipinnadas (estado juvenil).

Enraizamiento de Brotes

Después de seis meses de cultivo, se seleccionó brotes de material adulto y juvenil, elongados y vigorosos, de 2 a 3 cm que presentaran hojas bipinnadas. El material juvenil, fue obtenido a partir de semilla germinada *in vitro*.

Los explantes fueron seccionados y sometido a cuatro concentraciones de AIB: 0; 0,5; 1,0; y 1,5 mg/L, las que fueron adicionadas al medio de cultivo durante su preparación. Se utilizó como medio base, el medio MS con los macronutrientes reducidos a la mitad, los compuestos orgánicos del medio MS1, 20 g/L de sacarosa y 7 g/L de agar.

Los cultivos fueron mantenidos por 7 días en oscuridad y luego en fotoperíodo normal, hasta el momento de su evaluación.

Aclimatación de Plantas

Las plantas obtenidas del ensayo de enraizamiento, fueron colocadas en cajas estériles, que contenían un sustrato compuesto por turba y perlita en una relación de 1:3. El sustrato fue adicionado con el medio MS con sus macronutrientes reducidos a la mitad, en forma líquida y sin sacarosa.

Las cajas fueron cubiertas con dos capas de film de polietileno, luego de completar un período de 30 días, estas capas fueron removidas en forma gradual hasta lograr la adaptación de los estomas a un ambiente normal.

Diseño Experimental y Análisis de Datos

El diseño de los ensayos fue del tipo factorial totalmente aleatorizado. En el ensayo de multiplicación de brotes se evaluó el efecto de los tratamientos sobre cuatro clones de material adulto, disponiéndose de 3 a 12 repeticiones por cada uno de ellos. El ensayo fue medido, al completar cuatro semanas de cultivo.

En el ensayo de enraizamiento se evaluó el efecto de las distintas concentraciones de AIB, sobre dos clones de material adulto y dos clones de material juvenil, disponiéndose de 12 a 36 réplicas por cada tratamiento. El ensayo fue evaluado a los 25 días.

La validez estadística de los resultados se comprobó mediante análisis de varianza, donde se evaluó el efecto de los tratamientos, el clon y la interacción clon por tratamiento. Las medias entre tratamiento fueron comparadas mediante la prueba de Tukey, a un nivel de significancia $P < 0,005$. Los datos de presencia y ausencia, fueron transformados $\text{ArcoSeno}(\text{raiz}(v))$, antes de proceder a su análisis. La información fue procesada con el software estadístico Infostat®, versión 2004.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Establecimiento de Cultivos

La emergencia de brotes epicórmicos desde los trozos de ramas, se registró después de 4-6 semanas desde que éstos fueron colocados en un ambiente de alta humedad (Figura N°1). Los brotes desarrollaron filodios, que no son propiamente hojas sino que corresponde al desarrollo del peciolo, morfología asociada a un estado de madurez de la planta (Brodrribb y Hill, 1993).

Se obtuvo brotes epicórmicos en el 80% de los árboles superiores. La frecuencia de brotación a nivel del clon, varió entre 20 a 100%, dependiendo de la homogeneidad y calidad de las secciones de ramas colectadas. Desde cada trozo de rama, se generaron entre 1 a 10 brotes, que podían crecer hasta 12 cm de longitud; la emergencia de nuevos brotes continuó por aproximadamente cuatro semanas, luego del primer corte.

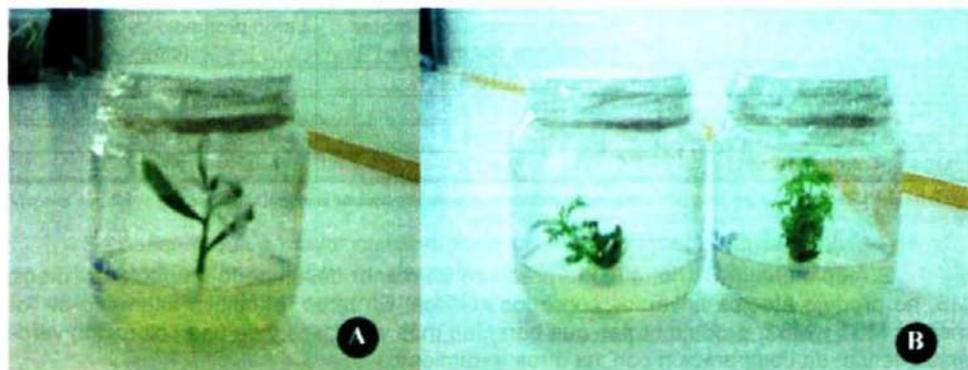
La contaminación promedio de los cultivos fue de 16,1%, principalmente del tipo bacteriana, indicando una buena calidad del material inicial en cuanto a sus condiciones de asepsia; una de las ventajas teóricas del material vegetal producido bajo condiciones controladas, es que facilita el establecimiento de cultivos libres de contaminación (Hernández *et al*, 2003 a).



Figura N° 1

BROTOS EPICÓRMICOS CON DESARROLLO DE FILODIOS, GENERADOS DESDE TROZOS DE RAMAS DE ÁRBOLES ADULTOS DE *A. melanoxylon*.

Los explantes establecidos, respondieron al medio de inducción mostrando brotación *in vitro* con formación de filodios, coincidiendo con el estudio de Jones y Smith (1988). Al cuarto mes de cultivo, los brotes comenzaron a formar hojas bipinnadas juveniles, como las mostradas en la Figura N° 2. Según Brodribb y Hill (1993), los filodios le confieren a la especie una mayor resistencia tanto a periodos cortos como largos de estrés hídrico; mientras que la función de las hojas bipinnadas sería maximizar el crecimiento durante la fase de plántula.



Se muestra el cambio desde material adulto a material juvenil. (A) Explante inicial con filodios, (B) el mismo explante sub- dividido, exhibiendo hojas bipinnadas juveniles, después de completar cuatro meses de cultivo en medio de inducción.

Figura N° 2
ESTABLECIMIENTO DE CULTIVOS DE *A. melanoxylon*

Se logró establecer cultivos viables en el 50% de los clones superiores seleccionados, la principal causa de pérdida de explantes se debió a la clorosis y posterior caída de los filodios, situación que concuerda con lo observado por Jones y Smith (1988). No se evaluó dosis más altas de BAP, debido a que en observaciones preliminares se advirtió que producían una excesiva formación de callo en la base del explante, impidiendo el desarrollo de los cultivos.

Según Hernández *et al.* (2003 b), tanto la formación de brotes epicórmicos, como la calidad del cultivo obtenido, se encuentran condicionadas por la época de colecta del material: es probable que controlando esta variable se pudiera aumentar el número de clones establecidos *in vitro*. No obstante ello, el genotipo es un factor determinante en la predisposición a la propagación vegetativa de árboles adultos (Oller *et al.*, 2004). Al considerar, que en el presente estudio se trabajó con un número reducido de clones (12 árboles superiores), el resultado logrado es bastante satisfactorio.

El cultivo se consideró establecido cuando los explantes desarrollaron hojas bipinnadas (Figura N° 2b).

Multiplicación.

No se encontró diferencias entre clones en cuanto a las tasa de multiplicación observada. Todas las formulaciones el medio MS lograron buenos resultados, tanto en la tasa de multiplicación como en el tamaño alcanzado por los brotes (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
EFFECTO DE DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO, SOBRE LA MULTIPLICACIÓN DE BROTTRES
IN VITRO DESPUÉS DE 4 SEMANAS DE CULTIVO

Medio de cultivo	Número promedio de brotes adventicios por explante (*)	Largo promedio de los brotes (cm)
MS1	3,10 a	2,50 a
MS2	2,75 a	2,65 a
Lainé & David	1,50 b	1,50 b
MS1 alternado con MS2	2,90 a	2,80 a

(*) Brotes con menos de 0,25 cm de largo no fueron contabilizados. Valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$ por la prueba de Tukey.

El medio Lainé&David, aunque presentó un menor desempeño respecto del medio MS, no produjo efectos adversos sobre los cultivos. En tanto, el cultivo alternado de los medios MS1 y MS2, produjo brotes que parecían más vigorosos y de una coloración verde más intensa, en comparación con los otros tratamientos.

Respecto de otras especies de *Acacia*, la tasa de multiplicación es superior a la obtenida en explantes juveniles de *A. mearnsii* (Borges *et al.*, 2004) e inferior al de material adulto de 10 años de *A. mangium* (Nanda *et al.*, 2004). Por otro lado, Jones y Smith (1988) utilizando una concentración de BAP cuatro veces superior a la empleada en este estudio, lograron una rápida formación de brotes *in vitro*, pero se producía clorosis y caída de hojas con una pérdida importante de explantes, efecto que no se observó en los tratamientos de este trabajo.

Es probable, que modificaciones en la concentración de hormonas pudiera aumentar la tasa de multiplicación, aún cuando el procedimiento desarrollado permite multiplicar adecuadamente el material *in vitro*.

Enraizamiento

No se observó diferencias en el porcentaje de enraizamiento entre clones y tampoco entre material adulto y juvenil.

Los porcentajes de enraizamiento son bastantes altos y similares para todos los tratamientos complementados con AIB (Cuadro N° 2). El enraizamiento observado en el tratamiento sin hormona, es producto de enraizamiento espontáneo ocurrido en explantes juveniles.

Los tratamientos con concentraciones más altas de hormona presentaron mayor número de raíces, sin embargo éstas eran más cortas respecto del medio con menor dosis

de AIB. Además, en un porcentaje importante de brotes, concentraciones altas de AIB provocaron clorosis y caída de hojas con la consecuente pérdida de vigor de las plantas. No obstante, una gran proporción de estas plantas volvió a brotar y a formar hojas durante la etapa siguiente de aclimatación, aunque se requirió de más tiempo para su crecimiento.

Cuadro N° 2

EFEECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AIB, SOBRE EL ENRAIZAMIENTO *IN VITRO* DE *Acacia melanoxylon*, DESPUÉS DE 25 DÍAS DE CULTIVO

Concentración AIB (mg/L)	Enraizamiento (%)	Promedio de Raíces (N°)	Largo Promedio de Raíces (mm)	Explantos con Clorosis en las Hojas (%)
0	7,3 b	0,11 b	5,67 b	16,3 c
0,5	78,1 a	3,25 ab	14,25 a	20,5 c
1	68,1 a	3,74 ab	12,07 ab	42,0 b
1,5	70,2 a	4,67 a	10,43 ab	69,7 a

Valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$ por la prueba de Tukey.

Se observó que a mayor concentración de AIB se formaba mayor cantidad de callo en la base del brote, situación no deseable debido a que se producen problemas en la conexión vascular de las raíces (Figura N° 3).



Figura N° 3

EFEECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AIB, SOBRE EL ENRAIZAMIENTO DE BROTES *IN VITRO* DE UN CLON DE MATERIAL ADULTO DE *A. melanoxylon*

El mejor resultado en cuanto a enraizamiento de brotes en todas las variables, evaluadas se obtuvo con una concentración de 0,5 mg/L de AIB, resultado que es similar al determinado para material adulto de *A. mangium* (Nanda *et al.*, 2004).

Aclimatación

En esta etapa se obtuvo un 90% de sobrevivencia de los plantas (Figura N° 4), al igual que en el trabajo de Sabja *et al.* (2005) donde se empleó un procedimiento parecido en *N. alpina*, se observó aumento en el tamaño de las hojas, elongación tanto apical como radicular y crecimiento vigoroso y abundante de raíces secundarias.



A la izquierda, una explante enraizado antes de ser puesto en aclimatación. A la derecha, plantas aclimatadas luego de 30 días de permanencia en caja de aclimatación, la cubierta plástica se ha removido por completo.

Figura N° 4
ACLIMATACIÓN DE PLANTAS MICROPROPAGADAS DE *A. melanoxyton*.

CONCLUSIONES

El protocolo desarrollado en este trabajo permite propagar *in vitro* árboles adultos de *A. melanoxyton*, utilizando brotes epicórmicos como material de inicio de cultivos, que tiene la ventaja de ser un método no destructivo del árbol original, como sucede con el empleo de rebotes de tocón, siendo además un procedimiento más fácil de implementar que el cultivo de meristemas. Es una metodología que además, puede ser replicada para el rejuvenecimiento y micropropagación de árboles adultos de otras especies de *Acacia*, la cual hasta ahora no había sido reportada.

Los resultados obtenidos en cuanto a tasas de multiplicación, enraizamiento y aclimatación de plantas hacen viable la utilización de este protocolo en la producción de plantas de material genético de alto valor de *A. melanoxyton*, para aprovechar de esta forma las ventajas productivas asociadas a la silvicultura clonal de especies forestales.

REFERENCIAS

- Ahuja, M. R., 1993.** Biotechnology and Clonal Forestry. In: Ahuja M. and Libby, W. (Editors) Clonal Forestry I. Genetic and Biotechnology. Springer-Verlag. Berlin. Pp:135-144.
- Beck, S., Dunlop, R. y J. Staden, 1998.** Rejuvenation and Micropropagation of Adult *Acacia mearnsii* Using Coppice Material. *Plant Growth Regulation*, 26: 149-153.
- Beck, S., Dunlop, R. y J. Staden, 2000.** Meristem Culture of *Acacia mearnsii*. *Plant Growth Regulation*, 32: 49-58.
- Bhojwani, S. y Radzdan, M., 1983.** Developments in Crop Science (5). *Plant Tissue Culture: Theory and Practice*. Elsevier Science Publishers Company Inc. Pp: 313-337.
- Borges, N., Cássia, R. y M. Pimentel, 2004.** Multiplicação *in Vitro* de Gemas Axilares de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *R. Árvore*, Viosa-MG, v.28, n.4:493-498.
- Brodrribb, T. y R. Hill, 1993.** A Physiological Comparison of Leaves and Phyllodes in *Acacia melanoxylon*. *Australian Journal of Botany* 41(3) 293 - 305
- Chalupa, V., 1987.** European Hardwoods. In: Bonga, J. and Durzan, D. (Editors). *Cell and Tissue Culture in Forestry. Case Histories: Gymnosperms, Angiosperm and Palm*. Vol.3. Martinus Nijhoff Publishers. Pp:232-248.
- Francllet, A.; Boulay, M.; Bekkaoui, F.; Fouret, Y. ; Verschore – Maryouzet, B. y N. Walter, 1987.** In: Bonga, J. and Durzan, D. (Editors). *Cell and Tissue Culture in Forestry. General Principles and Biotechnology* Vol I. Martinus Nijhoff Publishers. Pp: 232-248.
- Hernández, I.; Celestino, C. y M. Toribio, 2003 a.** Vegetative Propagation of *Quercus suber* L. by Somatic Embryogenesis. I. Factors Affecting the Induction in Leaves from Mature Cork Oak Trees. *Plant Cell Report* 21:759-764.
- Hernández, I., Celestino, C. y M. Toribio, 2003 b.** Vegetative Propagation of *Quercus suber* L. by Somatic Embryogenesis. II. Plant Regeneration from Selected Cork Oak Trees. *Plant Cell Report* 21:765-770.
- Ikemori, Y.K., Penchel, R.M., y F.L.G. Bertolucci, 1994.** Integrating Biotechnology into *Eucalyptus* Breeding. *International Wood Biotechnology Symposium*. August 31th- September 1th. Tokio, Japan. pp-77-84
- Jones, C., 1986.** Getting Started in Micropropagation of Tasmanian Blackwood (*Acacia melanoxylon*). *Combined Proceedings of the International Plant Propagators' Society*, Volume 36, Pp. 477-481. NZ FRI reprint 2216.
- Jones, C. and Smith, D., 1988.** Effect of 6-Benzylaminopurine and 1-Naphthylacetic Acid on In-vitro Axillary Bud Development of Mature *Acacia melanoxylon*. *Combined Proceedings of the International Plant Propagators' Society*, Volume 38: 389-393. NZ FRI reprint 2217.
- Lainé, E. y A. David, 1994.** Regeneration of Plants from Leaf Explants of Micropropagated Clonal *Eucalyptus grandis*. *Plant Cell Reports*, V13: 473-476.
- Merkle, S. y J. Dean, 2000.** *J. Current Opinión in Biotechnology*, 11: 298-302.



Murashige, T. y F. Skoog, 1962. A Revised—Media for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco—Tissue Cultures. *Physiol. Plant.* 15: 473-497.

Libby, W. y M. Ahuja, 1993. Micropropagation and Clonal Options in Forestry. In: Ahuja, M. (Editor). *Micropropagation: Technology and application.* Kluwer Academic Publishers. Pp: 425-442.

Nanda, R.; Das P. y G. Rout, 2004. *In Vitro* Clonal Propagation of *Acacia mangium* Willd. and its Evaluation of Genetic Stability through RAPD Marker. *Ann. For. Sci.* 61: 381-386.

Oller, J., Toribio, M., Celestino C. y G. Toval, 2004. The Culture of Elite Adult Trees in a Genetic Improvement Programme through *Eucalyptus globulus* Labill., Clonal Micropropagation. *Eucalyptus in a Changing World.* Proc.of IUFRO Conf., Aveiro 11-15 October 2004.

Pinilla, J.; Molina, M. y B. Gutiérrez, 2005. La Investigación en *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii* en Chile. Instituto Forestal. Concepción – Chile. 112 p.

Quoirin, M., Martins, K. M., Silva y M. Alves, 2001. Micropropagation of Juvenile and Adult Blackwattle. *Actas Simposio Red-Bio 2001: IV Encuentro Latinoamericano de Biotecnología.* Pp. 150-157

Sabja, A., Ortiz, O. y C. Treviño, 2005. Micropropagación de Arboles Plus de Raulí. En: *Clonación de Raulí, Estado Actual y Perspectivas.* Editado por Braulio Gutiérrez, Oriana Ortiz y María Paz Molina. CEFOR, INFOR, UACH. Pp: 41-58.

Smith, D., 1997. The Role of *In Vitro* Methods in Pine Plantation Establishment: The lesson from New Zealand. *Plant Tissue Culture and Biotechnology.* June. 3 (2): 63-73.

Talbert, G., Ritchie, G. y P. Gupta, 1993. Conifer Vegetative Propagation: An Overview from Commercialization Perspective. In: Ahuja M. and Libby, W. (Editors) *Clonal Forestry I. Genetic and Biotechnology.* Springer-Verlag. Berlin. Pp:145-181.

Vieiria, J., Bressam, D., Diniz A., Silva A. y M. Freitas, 1992. Clonal Silvicultura at Champion Paper e Celulosa Ltda.-Brazil. *Proceedings Mass Production technology for genetically improved fase growing forest tree species.* Tomoj. IUFRO Symposium Bordeaux. France. pp 283-291

White, P. R., 1943. *A Handbook of Plant Tissue Cculture.* Lancaster: Cattell.

OPCIONES PRODUCTIVAS CON ACACIAS PARA CHILE ¹

J.C. Pinilla S².; M.P. Molina B³.; B. Gutiérrez C.³

RESUMEN

En el país existen importantes áreas de suelos agrícolas, ganaderos y forestales con condiciones de sitio que resultan marginales para los cultivos y para las especies forestales tradicionales, predominando en éstos los suelos degradados y un decreciente rendimiento en los cultivos o en el desarrollo de las especies forestales, lo que limita el desarrollo del sector silvoagropecuario. Sin embargo, existen alternativas productivas eficientes que permiten aportar significativamente a estos sectores rurales y una de éstas es la forestación con especies del género *Acacia*, en particular *A. dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*, las cuales en investigaciones desarrolladas por INFOR han demostrado una adecuada adaptación a esas condiciones, exhibiendo resultados favorables de crecimiento que permiten alcanzar retornos económicos a temprana edad (entre los 8 y 12 años), con madera para variados usos. Además, se trata de especies leguminosas que tienen la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, representando así una buena alternativa de recuperación y mejoramiento de áreas degradadas.

La forestación con acacias representa así una alternativa real de creación de valor incorporando a la producción suelos actualmente en desuso, degradados y bajo procesos erosivos, para generar plantaciones forestales multipropósito. Estas plantaciones son de especial interés para crear nuevos recursos forestales y diversificar la producción en importantes sectores del país entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos.

Para ello, el Instituto Forestal (INFOR) ha desarrollado una estrategia para el estudio y promoción de las especies, la cual aborda diversos aspectos, con el fin de generar y transferir información y material relevante del género *Acacia*, de modo de posicionarlas como una alternativa forestal productiva.

En este documento se presenta parte de este trabajo, presentando los aspectos generales de la estrategia de masificación y los principales avances en la investigación realizada por INFOR con Acacias en Chile, centrado en antecedentes de crecimiento y rendimiento y los desarrollos de herramientas de gestión y manejo para las especies en el país.

Palabras claves: *Acacia dealbata*, *Acacia mearnsii*, *Acacia melanoxylon*, crecimiento

¹ Trabajo desarrollado en el marco del proyecto FDI-CORFO 02C8FD-13 "Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a Especies de *Acacia* Probadas en Chile"

² Investigador, Jefe de Proyectos, Instituto Forestal, Casilla 109-C, Concepción, Chile. jpinilla@infor.cl

³ Investigador, Jefe de Proyectos, Instituto Forestal, Casilla 109-C, Concepción, Chile.

PRODUCTIVE OPTIONS WITH ACACIA SPECIES IN CHILE

SUMMARY

There are important areas in Chile with site conditions that are marginal for agriculture, cattle and even for traditional forest crops, prevailing degraded soils and decreasing crop yields, limiting the development of the agroforestry sector. However, there are efficient productive alternatives, which allow contributing significantly to the regional rural sector. That is the case of afforestation with *Acacia* species, in particular *A. dealbata*, *A. melanoxylon* and *A. mearnsii*, which according to Forest Institute's researches, have demonstrated appropriate adaptation to those conditions, exhibiting favorable results of growth and allowing to reach economic returns at early age (between 8 and 12 years), producing wood for a variety of uses. Furthermore, being leguminous species, they can fix nitrogen to the soil representing a good way to recover and improve degraded lands.

Afforestation with *Acacia* species is a real alternative to create value by adding to the production abandoned or degraded soils under erosive processes generating multipurpose forest plantations. Those planted forest are of special interest for creating new forest resources and diversify the production in important areas in Chile between Regions of Valparaiso and Los Lagos.

To achieve it, INFOR has developed a strategy for the study and promotion of the species, which approaches diverse aspects, with the purpose of generating and transferring information and outstanding material of the *Acacia* genus, in a way of positioning them as a forest productive alternative.

This document presents part of this work, in general aspects of the propagation strategy and the main advances in the research carried out by INFOR with Acacias in Chile, centered in growth and yield information and the development of management tools for the species.

Keywords: *Acacia dealbata*, *Acacia mearnsii*, *Acacia melanoxylon*, growth

INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Acacia* constituyen promisorias opciones forestales como alternativas productivas en sectores marginales para las especies forestales tradicionales (pino radiata y eucalipto) o para ofrecer una mayor diversidad productiva al sector. Más aún, se espera que en el mediano plazo el desarrollo de estas opciones tecnológicas permita tomar decisiones en materia de políticas que tiendan a incrementar y diversificar el suministro de fibra corta, hasta ahora proporcionada por especies del género *Eucalyptus*, y con ello ampliar y diversificar la superficie de plantaciones forestales pulpables, fomentando el mejoramiento tecnológico para utilizar más adecuadamente las especies y el volumen de existencias, de manera de dejar de depender de las variaciones del mercado internacional en relación con un solo producto.

El Instituto Forestal desarrolla investigaciones con especies del género *Acacia*: *Acacia melanoxylon*, *Acacia dealbata* y *Acacia mearnsii* (Figura N°1). Estas especies han mostrado interesantes resultados para su establecimiento en el país, tanto desde el punto de vista de la diversificación de las actuales plantaciones con especies exóticas como por su alto grado de adaptabilidad a variadas condiciones de suelo y clima y la multiplicidad de productos a obtener a través de un manejo forestal adecuado. La investigación desarrollada complementa información relacionada con el manejo forestal más adecuado, el mejoramiento genético, las características físico mecánicas, la evaluación de los probables productos a obtener, etc., de tal forma de lograr hacer de estas especies exóticas una nueva y eficiente fuente de ingresos para grandes, medianos y pequeños propietarios.

En Chile, las plantaciones de *Acacia melanoxylon* abarcan una superficie cercana a las 4.000 ha (Loewe *et al.*, 2004). Sin embargo, existe una superficie indeterminada constituida por rodales de *Acacia melanoxylon* y *Acacia dealbata* establecidos en mezcla con otras especies, en cajas de ríos, cortinas cortavientos o masas forestales derivadas de regeneración natural (INFOR, 1997; Pinilla, 2000).

Estas especies no son empleadas masivamente por desconocerse los parámetros básicos de crecimiento, productividad y aprovechamiento industrial, lo que impide obtener proyecciones de incrementos, rendimientos y abastecimiento (Pinilla 2000; Pinilla *et al.* 2000). Un mayor desarrollo en el conocimiento de su biometría, mejoramiento genético, aptitud industrial y manejo forestal, permite obtener una respuesta a estas interrogantes y promover su utilización, tanto pulpable como aserrable, tal como lo indica la experiencia internacional. Estas especies se utilizan en combinación con eucalipto para la producción de fibra corta, y en Australia, en los bosques naturales de *Eucalyptus*, constituyen el dosel inferior y conforman un porcentaje de la producción de pulpa total debido a su compatibilidad y aptitudes (Simmons 1987; Pinilla 2000).

El Instituto Forestal ha desarrollado estudios relacionados con acacias australianas, para generar una base de información para estas especies, con apoyo de empresas, propietarios y organismos gubernamentales, instalando ensayos de procedencias en diferentes áreas geográficas y sitios (INFOR 2001). Los estudios se han centrado entre las



Regiones de Bio Bio y Los Lagos, debido a que en ellas se encuentran las principales empresas forestales del país, el mayor patrimonio forestal y una superficie importante de suelos degradados o sin uso. Entre otros antecedentes, a partir de la información en poder de INFOR (INFOR, 1988; INFOR, 1997), se ha trabajado en la medición y análisis de diversos ensayos instalados para el estudio del crecimiento y rendimiento de acacias. Entre estos ensayos destacan parcelas permanentes, ensayos de procedencias, unidades demostrativas y ensayos de espaciamiento. Estos estudios han demostrado que especies de *Acacia* pueden ser utilizadas en Chile en sitios donde no se adaptan otras especies (*Pino radiata*, eucalipto), para el control de suelos erosionados y mejorar la productividad de suelos degradados (NAS 1980; Pinilla 2000; Pinilla *et al.* 2000).

Un aspecto importante es que, además del interés del sector industrial por estas especies, los medianos y pequeños propietarios forestales serían beneficiados directamente por su uso puesto que en su poder existen áreas erosionadas o sitios sin uso que pueden ser recuperados y utilizados con especies de *Acacia*, generando un recurso forestal de interés económico que les permita incrementar sus ingresos.



Figura N° 1

RODALES DE ACACIA: *A. dealbata* ANTIQUINA BIO BIO; *A. mearnsii* MÁFIL LOS LAGOS
A. melanoxylon LANCO LOS LAGOS; *A. dealbata* LONCOCHE ARAUCANIA
A. melanoxylon TOMÉ BIO BIO y *A. dealbata* QUIRIHUE BIO BIO

El presente trabajo entrega aspectos generales y los principales avances en la investigación realizada por INFOR con Acacias en Chile, centrados en antecedentes de crecimiento y rendimiento e información de gestión y manejo para las especies en el país.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Escalar las opciones productivas de plantaciones compuestas por las especies *Acacia mearnsii*, *A. dealbata* y *A. melanoxylon*, a través del fomento, masificación y desarrollo de productos con mayor valor agregado.

MATERIAL Y MÉTODO

La metodología de la investigación relacionada con la masificación, fomento productivo y la caracterización y aprovechamiento industrial, intenta aumentar la demanda por las especies consideradas y la superficie cubierta con ellas en el país, junto con la generación y entrega de información en el uso y potencialidades de las especies. A ello se suma la instalación de unidades demostrativas operacionales y el desarrollo de material genéticamente mejorado para uso operacional.

La investigación de INFOR se ha centrado además, en establecer una base de información sobre las especies consideradas, generando antecedentes y herramientas para demostrar y utilizar sus potencialidades en la perspectiva de productos a generar.

La metodología utilizada busca en *Acacia* mejorar, innovar (diversificar) y proporcionar a sus usuarios información importante sobre los resultados obtenidos, de tal forma que el uso de las especies ensayadas tenga respaldo documental y pueda extenderse lo más ampliamente posible en las áreas rurales del país.

Ensayos Establecidos

Sucesivos proyectos desarrollados por INFOR han permitido contar en la actualidad con una serie de parcelas permanentes y ensayos entre las Regiones del Maule y Los Lagos, información resumida en el Cuadro N° 1.

**Cuadro N° 1
PARCELAS Y ENSAYOS CON ACACIAS**

Región	N° de parcelas/ensayos	<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Acacia dealbata</i>	<i>Acacia mearnsii</i>	Total
Metropolitana	1			1	1
Valparaíso	2		1	1	2
Maule	4 / 6	4 / 1	4	1	9
Bio Bio	14 / 2	7 / 2	13 / 3	2	23
Araucanía	13 / 2	13 / 1	1		15
Los Lagos	12 / 2	13 / 1		1	14
Total	44 / 12	32 / 5	13 / 9	1 / 5	64

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta los aspectos generales de la estrategia de masificación y los principales avances en la investigación realizada por INFOR con Acacias en Chile, centrado en antecedentes de crecimiento y rendimiento y los desarrollos de herramientas de gestión y manejo para las especies. A lo anterior se debe agregar las labores para difundir los resultados obtenidos, garantizar la disponibilidad de semilla adecuada y plantas e incorporar a estas especies dentro de las especies de rápido crecimiento utilizables para la forestación.

Árboles Plus de Acacia y Semilla Disponible

Se ha seleccionado, registrado y marcado árboles Plus de de las tres especies de *Acacia*, detalle de lo cual se entrega en el Cuadro N° 2. De estos ejemplares seleccionados ha sido posible obtener semilla con un primer grado de mejoramiento genético para las actividades de instalación de unidades demostrativas y comercialización. El cuadro muestra también la provisión de semillas que había disponible para el año 2006.

Cuadro N° 2
ÁRBOLES PLUS DE ACACIA Y DISPONIBILIDAD DE SEMILLAS

<i>Especie</i>	<i>N° Clones</i>	<i>Cantidad (kg)</i>
<i>A. mearnsii</i>	39	15,7
<i>A. dealbata</i>	25	11,6
<i>A. melanoxylon</i>	18	1,0
TOTAL	82	28,3

Producción de Plantas

Se ha desarrollado y difundido los tratamientos pregerminativos más adecuados para estas especies, así como aspectos de su nutrición en vivero, aspectos sanitarios y otras técnicas de vivero. En la temporada 2005 se produjo cerca de 40 mil plantas para la instalación de distintos ensayos.

Macropropagación de *Acacia* Mediante Estaquillado

Como un medio para obtener la masificación del material seleccionado de acacia y de promover su uso como herramienta de producción, se probó diversos medios para obtener este objetivo, entre éstos se utilizó la propagación por estacas y la injertación.

- Propagación por Estacas

La confección de las estacas se realizó a partir de brotes extraídos desde rebrotes de tocón y brotes radiculares de árboles selectos ubicados en diferentes ensayos de INFOR y rodales de particulares. Para esto, se obtuvo brotes de buen desarrollo, adecuada

pigmentación clorofílica, sin evidencias de daños y de consistencia ligeramente flexible, evitando aquellos demasiados herbáceos, muy lignificados o con demasiada ramificación axilar. De estos brotes corta segmentos de tallo de 4 a 5 cm de longitud con un par de hojas sanas y un diámetro no inferior a 2 mm. Se privilegió los segmentos basales y medios del brote, descartando los apicales que generalmente enraizan en menor proporción. Frente a los resultados obtenidos se detectó que el material utilizado no siempre tiene el rejuvenecimiento apropiado para la consecución de un enraizamiento exitoso, motivo por el cual se empleó sólo material proveniente de tocón, es decir de árboles adultos cosechados que tuvieron rebrotación, material responde de mejor forma al enraizamiento. La supervivencia de estacas es así mayor y se espera que haya una alta capacidad rizogénica.

Dado lo anterior, los árboles plus serán cosechados para la obtención de material de rebrote de tocón, los cuales se encuentran resguardado a través de su semilla, y se procederá la clonación operativa para la obtención, en primera instancia, de plantas madres productoras de estacas.

- Propagación por Injertos

Los resultados son insatisfactorios, es posible concluir que este tipo de técnica no es la apropiada para las especies y se requerirá la utilización de otra técnica de clonación, ya sea para el resguardo de germoplasma o bien para el establecimiento de huertos clonales para la producción de semillas. Cabe señalar que no existen reportes de otros investigadores para la injertación de estas especies, por lo cual no es posible discutir estos resultados.

Unidades Demostrativas

Las investigaciones desarrolladas están proporcionando valiosa información y los ensayos establecidos en diferentes regiones del país continuarán haciéndolo crecientemente. Los avances logrados generan una doble necesidad; continuar hacia nuevas etapas en la investigación silvícola y tecnológica y transferir y difundir la información reunida al sector forestal. La implementación de unidades demostrativas a lo largo del país es un medio importante de transferencia y difusión, que involucra a propietarios de tierra y a interesados locales en cada lugar en que son instaladas. Estas unidades cumplen con el doble objetivo antes mencionado, en ellas se establece plantaciones demostrativas con material genético con cierto grado de mejoramiento, en las cuales se continúa un proceso de selección y también, se aplica técnicas silviculturales y se evalúa crecimiento y rendimiento, además de obtener material para continuar la investigación silvícola y también avanzar en el estudio de la madera y sus aptitudes de uso industrial. En estas unidades se incluye también ensayos, principalmente orientados al mejoramiento genético, como aquellos de procedencia/progenie que representan una selección más fina en materia de orígenes de semilla adecuados a diferentes sitios y a partir de los cuales se avanza a etapas más avanzadas de mejoramiento.

En las plantaciones demostrativas se ha empleado plantas originadas en semilla australiana de procedencias antes seleccionadas y de semillas cosechadas de árboles seleccionados o árboles plus (Cuadro N° 2) correspondientes a procedencias de semillas

que muestran mayor crecimiento y adaptación en ensayos anteriores, que fueron establecidos con colecciones de procedencias de semilla proporcionadas por CSIRO de Australia. Complementariamente, las plantas empleadas en los ensayos de procedencia/progenie incluidos en estas unidades provienen de semilla australiana correspondiente a colecciones proporcionadas por CSIRO para estos efectos

Las procedencias utilizadas en las unidades en consecuencia australianas y locales, pero estas últimas corresponden a semillas de ejemplares de la primera generación en el país de procedencias australianas seleccionadas por su mayor crecimiento y adaptabilidad en los ensayos en Chile (Antiquina y Nacimiento, Bio Bio, y Mafil, Araucanía). Estas procedencias son las señaladas en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
PROCEDENCIAS AUSTRALIANAS SELECCIONADAS

Especie	Procedencia	Lugar de Origen		
		Lat. Sur	Long. Este	Altitud (msnm)
<i>A. dealbata</i>	16385 SSE Snug (Tasmania)	43°06'	147°14'	143
	16384 S Orford (Tasmania)	42°41'	147°52'	120
<i>A. mearnsii</i>	16266 8 km of Orbost (VIC)	37°37'	148°29'	-
	16268 Bombala- Dalgety	36°40'	149°08'	860
<i>A. melanoxylon</i>	Antiquina	38°18'	73°21' W	30

En el año 2005 se instaló 9 unidades demostrativas entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos y en cuatro de ellas se incluyó ensayos procedencia/progenie con plantas producidas con las colecciones de semilla australianas. En estos se aplica un diseño experimental adecuado para permitir la evaluación y comparación entre las procedencias y entre las progenies o familias en cada lugar. Cada familia está representada por una planta en cada bloque y el diseño contempla 25 bloques, el número de familias por procedencia es variable de modo que cada procedencia estará representada por el producto de 25 individuos por familia por el número de familias de la procedencia. Estos ensayos conducen a la selección de familias superiores dentro de las procedencias. El detalle de procedencias y familias es indicado en el Cuadro N° 4.

**Cuadro N° 4
PROCEDENCIAS / PROGENIES**

Seedlot	Tree N°	Localización	Estado	Latitude	Longitude	Altitud (msnm)
19757	N° Fam: 10	Tidbinbilla Nat Res.	ACT	35°27'	148°57'	600
19778	N° Fam: 13	Cooma South	NSW	36°29'	149°06'	900
16376	N° Fam: 9	22-18 KM WNW Bemboka	NSW	36°37'	149°26'	1.035
16385	N° Fam: 8	6-15 Km SSE Snug	TAS	43°06'	147°14'	143
Raza local = 24						
<i>Acacia mearnsii</i>						
Seedlot	Tree N°	Localización	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
14770	6 Árboles	Polacks Flat Ck	NSW	363900	149°06'	260
15328	3 Familias	Avoca	TAS	41°49'	147°35'	220
15330	4 Familias	Boyer, W Of Hobart	TAS	424600	147°08'	60
16246	7 Familias	10 Km S Of Nowra	NSW	345900	150°36'	10
16247	5 Familias	7 Km N Of Milton	NSW	351500	150°26'	60
16265	3 Familias	Orbost-Cann River	VIC	374200	148°39'	45
16266	1 lote	8 Km N Of Orbost	VIC	373700	148°29'	120
16266	3 Familias	8 Km N Of Orbost	VIC	373700	148°29'	120
16268	5 Familias	Bombala-Dalgety	NSW	364000	149°08'	860
16374	2 Familias	18km Ne Bungendore	NSW	350900	149°35'	780
17938	1 Familia	Mt Rix	NSW	364500	148°58'	930
18606	11 Familias	Grampians N.P.	VIC	37°06'	142°24'	350
18607	10 Familias	Berrima	NSW	343000	150°20'	750
18977	10 Familias	Mt Gladstone	NSW	361500	149°05'	1000
18979	12 Familias	B'hill Res Kyneton	VIC	371200	144°29'	520
19815	5 Familias	Apsley River Bridge	TAS	415600	148°14'	10
Raza local = 31						
<i>Acacia melanoxylon</i>						
Seedlot	Tree N°	Localización	Estado	Latitude	Longitude	Altitude
16272	1 lote 10 árboles	15 km S of bonang	VIC	371900	1484200	300
17263	N° Fam: 2	Mt. Mee-Sellins Rd	QLD	27°06'	152°44'	500
18980	N° Fam: 10	Gellibrand River	VIC	38°43'	143°15'	50
19506	N° Fam: 3	King Island	TAS	39°55'	144°02'	60
19499	N° Fam: 5	E Launceston District	TAS	41°11'	147°21'	150
19500	N° Fam: 5	St Helens District	TAS	41°18'	147°52'	600
19498	N° Fam: 6	W Launceston District	TAS	41°29'	146°42'	300
Raza local = 9						

Estimación de Áreas Potenciales para Forestación con Acacias en Chile

Con el objetivo de conocer la superficie potencial en donde se podría establecer plantaciones de estas acacias en el país entre las Regiones de Coquimbo y Los Lagos, se efectuó una estimación basada en áreas de crecimiento y considerando los requerimientos ecológicos que la literatura define para ellas. Se empleó el Sistema de Ordenamiento de la Tierra, Regiones de Maule a Los Lagos de Schlatter *et al.* (1997), quienes clasifican el territorio en áreas de crecimiento y sitios a diversas escalas cubriendo las Regiones indicadas. Con este método se identificó zonas geográficas potenciales de desarrollo de las especies y los resultados preliminares arrojan una superficie total para estas especies sólo en las Regiones de La Araucanía y Los Lagos de 3,5 MM ha, de las cuales en la Araucanía habrían 1,5 MM ha y en Los Lagos 1,9 MM ha (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 5
ÁREAS APTAS POR ESPECIE Y REGIÓN

Región	Especie	Superficie (ha)
Araucanía	<i>Acacia melanoxylon</i>	425.052
	<i>Acacia mearnsii</i>	909.065
	<i>Acacia dealbata</i>	239.441
Subtotal región		1.533.509
Los Lagos	<i>Acacia melanoxylon</i>	584.124
	<i>Acacia mearnsii</i>	598.712
	<i>Acacia dealbata</i>	737.574
Subtotal región		1.920.461
Total		3.493.970

La estimación indica que la disponibilidad real, de terrenos libres y aptos, para las tres especies, en la Araucanía alcanzaría a 348.726 ha, mientras que para Los Lagos esta superficie llegaría a 631.516 ha. Detalle de esto en Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6
ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE APTA Y DISPONIBLE ACTUAL POR ESPECIE Y REGIÓN

Región	Especie	Superficie (ha)
Araucanía	<i>Acacia melanoxylon</i>	0,0
	<i>Acacia mearnsii</i>	182.278
	<i>Acacia dealbata</i>	166.447
Subtotal región		348.725
Los Lagos	<i>Acacia melanoxylon</i>	83.206
	<i>Acacia mearnsii</i>	62.940
	<i>Acacia dealbata</i>	485.368
Subtotal región		631.516
Total		980.242

Acacia melanoxylon y *Acacia mearnsii* comparten sus requerimientos ecológicos con otras especies competidoras que ya ocupan estas zonas de crecimiento (*Pinus radiata* y *Eucalyptus spp.*). Para el caso de *Acacia dealbata* la situación es más favorable encontrándose aún disponibilidad de terrenos libres, destacando por su condición de especie recuperadora de suelos degradados.

Ensayos de Poda en *Acacia dealbata*

De los resultados de las investigaciones realizadas se puede concluir que una especie promisoría en crecimiento y desarrollo para fines industriales es *Acacia dealbata* con procedencias de Tasmania (Australia). Dados estos antecedentes es preciso que en el ámbito industrial (madera y papel) se incorporen proporciones tales de *Acacia* como para permitir ubicarla como una especie complementaria a las especies tradicionales. En este contexto, se han instalado ensayos de manejo en *Acacia dealbata* con el objetivo de determinar esquemas de intervención, podas y raleos, que permitan obtener madera de adecuada calidad para los productos industriales.

Entre los productos destacan la madera aserrada, de gran trabajabilidad y facilidad de secado con un atractivo color y veteado; y las chapas, que presentan atractivas características de calidad. Para obtener madera de apropiada para estos productos, se requiere de intervenciones de manejo, que son las que se pretende identificar con ensayos como los mencionados. Un ejemplo de ensayos de este tipo se muestra en el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7
ESQUEMAS DE MANEJO APLICADOS EN *Acacia dealbata* A LOS 3 AÑOS

Tratamiento	Variables		año 5-6	año 9-10
	Poda	Raleo		
T	-----	-----	-----	-----
P1	50%	834	300	-----
P2	70%	834	600	300
P3	50%	1000	800	300

Plantaciones en Rodales Mixtos

En materia de asociación de especies en rodales mixtos, siempre deben ser analizadas las relaciones interespecíficas, tales como aleopatía, compatibilidad y complementación (Wrann, 1983).

Si el objetivo es trabajar con bosques mixtos, *Acacia melanoxylon* se presta favorablemente a ser establecida en mezclas, crece bien con eucalipto, pino oregón, pino radiata y otras. También puede ser mezclado con especies de *Nothofagus*. Sin embargo, para decidir el espaciamiento y modalidad de mezcla, deben existir antecedentes sobre la dinámica de crecimiento juvenil de las especies participantes en el sitio donde se desee instalar *Acacia melanoxylon* (Siebert, 1994).

Los estudios de CSIRO Australia (Khanna, 1999) indican que las plantaciones mixtas de eucalipto con *acacia* entregan mejor calidad en madera y también beneficios ambientales.

Resultados similares se encontró en los años 1996 y 1997 en los estudios realizados por la Universidad Austral de Chile (Yañez, 1996; Reinike, 1996 y Toledo, 1997). Estas plantaciones mixtas (1:1) pueden fijar alrededor de 30 kilogramos de nitrógeno por hectárea, lo cual estaría reemplazando el nitrógeno perdido del sistema al final de la cosecha. En parcelas de ensayos de plantaciones mixtas realizados en Tailandia se observó, después de 28 meses, crecimientos superiores en un 15% a los apreciados en una plantación pura de eucalipto, atribuyéndose la diferencia al efecto de las acacias creciendo en conjunto con los eucaliptos.

Crecimiento y Rendimiento

Las especies presentan una alta supervivencia (85-90%), pero *A. dealbata* presenta los más altos valores para todos los parámetros de crecimiento evaluados en los distintos ensayos de INFOR. En un ensayo de especies y procedencias los resultados señalaron diferencias significativas en las especies *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*, según se indica en Cuadro N° 8 (Pinilla *et al.*, 2004).

Cuadro N° 8
DESARROLLO DE ACACIAS A LOS 9 AÑOS DE EDAD

Especies	DAP (cm)	Altura (m)	Supervivencia (%)
<i>A. dealbata</i>	16,5	18,4	90
<i>A. mearnsii</i>	12,5	16,1	87
<i>A. melanoxylon</i>	9,7	11,6	85

La información de crecimiento y rendimiento ha sido obtenida desde rodales de *Acacia melanoxylon* y *A. dealbata* situados entre los paralelos 35° 30' S y 40° S y entre los meridianos 73° 30' W y 72° 30' W. La precipitación anual en el área varía entre los 600 y 1.500 mm. Las unidades cubren los periodos de rotación esperados para estas especies (10 y 30 años, para *A. dealbata* y *A. melanoxylon*, respectivamente).

Para un mejor ajuste y validación de modelos es necesaria la incorporación de información proveniente de variadas situaciones de crecimiento, en donde las parcelas permanentes y distintos tipos de ensayos han resultado ser más eficientes para recolectar datos destinados al desarrollo de modelos de crecimiento a través de su análisis conjunto, tendiendo a ser más representativa al muestrear ampliamente las diversas condiciones. Durante este periodo, la información obtenida desde las distintas unidades se ingresa a un sistema de manejo y procesamiento de la información que ha desarrollado la investigación, el cual genera una salida con las principales variables de rodal. Esta información es la que se utiliza en los distintos análisis de crecimiento y rendimiento en desarrollo.

De igual forma, a partir de la recuperación de variables de distribución, es posible generar la salida gráfica de la distribución diamétrica generada a partir de variables de rodal en *Acacia*, lo cual es útil para observar el desarrollo de los rodales en términos de la concentración del rendimiento. Un ejemplo de esta salida se presenta en la Figura N° 2.

Los rodales presentaban densidades promedio de 1.189 arb/ha. En *A. dealbata*, algunos rodales correspondían a regeneración natural, sin un espaciamiento determinado. Los valores dasométricos reportados desde las parcelas permanentes y ensayos, indican volúmenes totales que varían entre los 100 a 400 m³/ha, dependiendo de la edad para el caso de *A. dealbata*, y valores aún mayores en el caso de *A. melanoxylon* (Figuras N° 3 y 4).

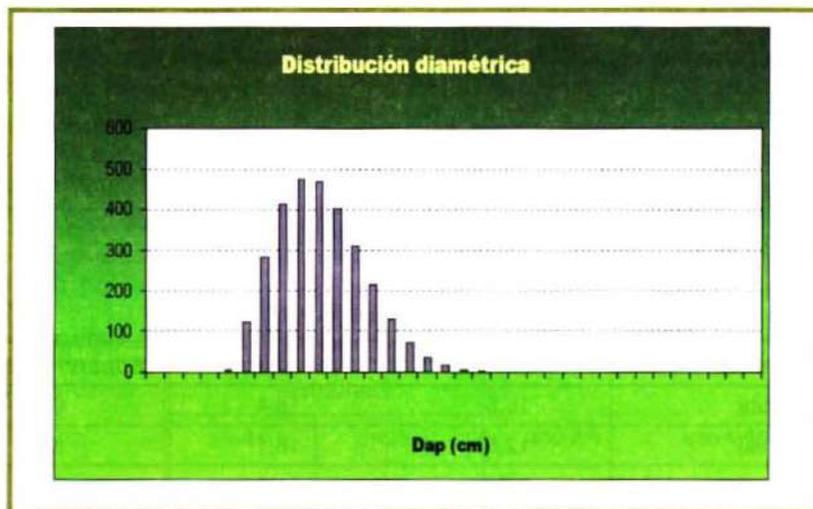


Figura N° 2
SALIDA GRÁFICA DE DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA GENERADA A PARTIR DE VARIABLES DE RODAL EN ACACIA

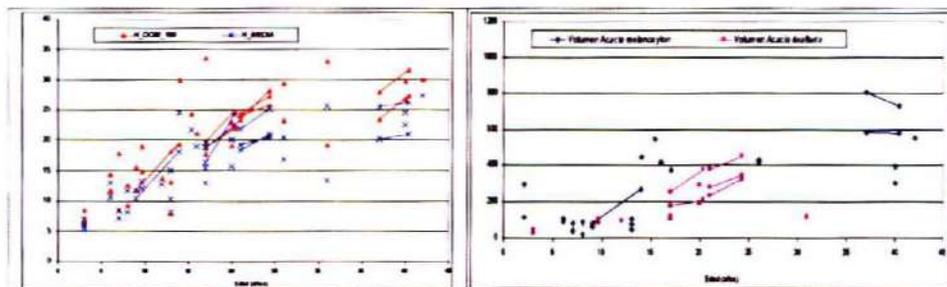


Figura N° 3
RELACIÓN EDAD – ALTURA (DOMINANTE Y MEDIA) OBTENIDA DESDE ENSAYOS Y PARCELAS PERMANENTES DE ACACIA, Y SERIES DE CRECIMIENTO EN VOLUMEN SEGÚN ESPECIE Y EDAD

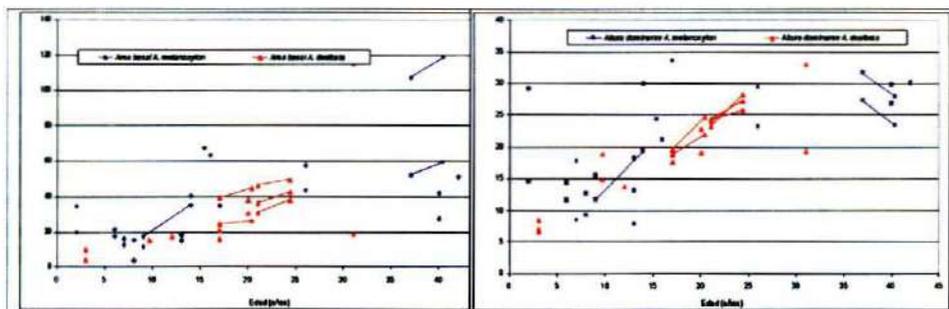


Figura N° 4

VALORES DASOMÉTRICOS OBSERVADOS EN ACACIA: INCREMENTOS EN ÁREA BASAL Y ALTURA DOMINANTE OBSERVADAS EN ACACIA, SEGÚN EDAD Y ESPECIE

En relación con los estudios de rendimientos, en ensayos de INFOR se ha observado fuertes incrementos en altura y diámetro de las especies de acacia consideradas en esta investigación. *Acacia dealbata* confirma ser una especie promisoría, presentando el mejor desarrollo de todas las especies ensayadas. En términos de rendimiento, los resultados obtenidos desde parcelas permanentes indican incrementos anuales en volumen de 20 m³/ha para *A. dealbata* y 10 m³/ha para *Acacia melanoxylon*, registrando en sitios de buena calidad valores aún mayores para ambas especies (Pinilla, 2005).

Si se considera que *A. dealbata* tiene fines pulpables, rotaciones mayores a 12 años no se justificarían dado que a esa edad los volúmenes serían cercanos a los 200 a 250 m³/ha y considerando que se establecen en sitios marginales, las expectativas de rendimiento son atractivas. Sin embargo, actuales tendencias del mercado de Australia y Nueva Zelanda están apuntando al uso de esta especie en productos de mayor valor (muebles, chapas), por lo que se hace necesario abordar su estudio desde este punto de vista. Esto significa ahondar en esquemas de manejo, densidad inicial de plantación, raleo y podas. Los crecimientos y forma del árbol presentados en Chile por algunas procedencias específicas permiten pensar que el uso industrial de la madera aserrada o chapas de esta especie es viable técnicamente. En relación con la madera aserrada de *A. melanoxylon*, los valores en volumen total en pie reportados son altamente atractivos, alcanzando a los 20 años valores entre 400 a 500 m³/ha.

Estos antecedentes provienen de un estudio que abarca amplias zonas del sur del país, por lo que pueden ser puntos de referencia inicial para cualquier productor interesado.

Se debe recalcar que los antecedentes generados a la fecha para estas especies, se originan en rodales sin ningún manejo silvícola y establecidos con semilla sin ningún grado o con sólo un primer grado de mejoramiento genético, por lo que los antecedentes de crecimiento y rendimiento registrados pueden ser considerados como una cota inferior para los rodales de esta especie en Chile. Estos valores deben ser corroborados a través de esta nueva investigación. Sin embargo, entregan una estimación de los rendimientos que se podría

obtener con esta especie, los que son comparables en magnitud a los reportados para pino radiata y eucalipto.

Modelos de Gestión

Con las mediciones de las parcelas permanentes y ensayos se ha desarrollado modelos de gestión para acacias creciendo en Chile. Estos han sido desarrollados a base de modelos tradicionales y la experiencia de INFOR con especies forestales de rápido crecimiento (Draper *et al.* 1967; Clutter *et al.*, 1983; Pienaar *et al.*, 1986; García, 1994; INFOR, 1995; INFOR, 2001). Los modelos así desarrollados corresponden a:

- a) Modelo de Sitio (altura dominante)
- b) Modelo de Rendimiento en Área Basal
- c) Modelo de Volumen Total
- d) Modelo de Volumen de Árbol Individual según Especie
- e) Modelo de Ahusamiento según Especie

Se está trabajando en el desarrollo de un modelo de volumen total por hectárea para *Acacia*. De los análisis preliminares de la información de parcelas permanentes y ensayos se desprende que *A. melanoxylon* presenta los mayores volúmenes y diámetros.

ALGUNAS CONCLUSIONES PRELIMINARES

Los resultados de los ensayos de introducción de acacias demuestran que algunas especies son promisorias para ser utilizadas en futuros programas de forestación. *Acacia dealbata* ha confirmado ser la especie más interesante, presentando el mejor desarrollo de todas las especies ensayadas.

La principal fuente de información en este sentido es la que ha generado INFOR. Desde ella se han podido establecer los primeros antecedentes en cuanto a las posibilidades de utilización de estas especies. Sin embargo, eso es sólo el principio, requiriéndose de nuevas investigaciones, ensayos e información para generar las alternativas, silvicultura y manejo que permitan su acabada utilización.

En este contexto, las actividades de transferencia directa como son las unidades demostrativas, y ensayos donde son probadas diferentes familias y procedencias, asociadas a talleres en terreno y capacitación, permitirán la difusión y conocimiento de estas especies por los potenciales interesados.

Con ello se espera contribuir a la masificación de estas especies y su uso en el sector forestal del país, como una alternativa o complemento a las especies forestales tradicionales, cumpliendo con el objetivo de escalar las opciones productivas del recurso forestal compuesto por las especies *Acacia mearnsii*, *A. dealbata* y *A. melanoxylon*, a través del fomento, masificación y desarrollo de productos con mayor valor agregado, contribuyendo a difundir y

promover su utilización y las herramientas de apoyo para el manejo y cultivo de ellas.

Este estudio de INFOR se constituye en una línea de investigación sobre *Acacia* creciendo en Chile, abarcando un amplio rango geográfico y que se constituye en un importante apoyo acerca del material a utilizar, las herramientas de gestión y los rendimientos y crecimientos de estas especies, información trascendente para la toma de decisiones de interesados en su cultivo como especies forestales alternativas, los cuales deben incluir aspectos de análisis tecnológico y económico. Sin duda aún existen diferentes tópicos que investigar, entre ellos el manejo post cosecha del rodal, estudios de polinización controlada y el uso de las semillas.

Estas especies se pueden transformar en una oportunidad para el sector industrial, utilizando sitios marginales para las especies tradicionales, y para medianos y pequeños propietarios, los que son beneficiados a través de la generación y uso eficiente de información.

REFERENCIAS

Clutter, J.; Fortson, J.; Pienaar, L.; Brister, G. and Bailey, R., 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. Wiley & Sons, New York, USA. 333p.

Draper, N. and Smith, H., 1967. Applied Regression Analysis. J. Wiley and Sons Inc, N. York. 407p.

García, O., 1994. Minimum Data for Forest Plantation Management. Keynote address, IUFRO Conference Minimum Data Requirements for Sustainable Forest Management, Stellenbosch, South Africa, November 1994.

INFOR, 1988. Silvicultura del Aromo Australiano (*Acacia melanoxylon* R. Br.). Informe de Avance Proyecto INFOR - CORFO, Diciembre de 1988. 40 p

INFOR, 1997. Investigación Silvicultura *Acacia melanoxylon* y Otras Acacias. Informe Final. INFOR - CORFO. Concepción. 146 p. más anexos

INFOR, 2001. Incorporación de Especies del Género *Acacia* a la Producción Forestal Chilena. Informe de Avance. INFOR-CORFO. Concepción. 126 p.

INFOR-FONDEF, 1995. Índices de Sitio Preliminares para Eucalipto. Proyecto CONICYT-FONDEF. Antecedentes Biométricos y Modelos de Apoyo a la Gestión y Manejo Racional del Eucalipto.

Khanna, P.K., 1999. Gains from Planting Eucalypts and Acacias, Onwood: Research Updates from CSIRO Forestry and Forest Products. Summer No. 23. CSIRO Forestry and Forest Products, Canberra.

Loewe, V.; González, M.; Siebert, H y González, Y., 2004. El Aromo Australiano y su Proyección. Revista Chile Forestal N°301: 17-20. Santiago, Chile.

National Academy of Sciences, 1980. Firewood Crops. Shrubs and Tree Species for Energy Production. Vol. 1, Washington D.C. National Academy Press. 237 p.

Pienaar, L. V., Shiver, B. D., 1986. Basal Area Prediction and Projection Equations for Pine Plantations. Forest Sci., Vol 32 N° 3, pp. 626-633.

Pinilla, J.C., 2000. Descripción y Antecedentes Básicos sobre *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*. Revisión bibliográfica. Santiago, Chile. INFOR-CORFO. Informe Técnico 147. 49p.

Pinilla, J.C.; Molina, M. P.; Villarroel, A. y Gutiérrez, J., 2000. Primeros Resultados de un Ensayo de Especies y Procedencias de *Acacia* en la VIII Región. In Actas 1º Simposium Latinoamericano sobre Manejo Forestal. Santa María, Brasil, 9-10 noviembre. Universidad Federal de Santa María.

Pinilla, J.C.; Molina, M.P. y Gutiérrez, B., 2004. Performance of Australian Acacias in Chile. NFT News. Improvement and Culture of Nitrogen Fixing Trees. 7(1): 4-5.

Pinilla S., J.C., 2005. Manejo, Crecimiento y Rendimiento. En: Pinilla, J.C.; Molina, M. y Gutiérrez, B. (editores). Investigación con *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii* en Chile. INFOR-CORFO. Concepción, Chile. pp.: 67-98.

Reinike, M., 1996. Comparación del Efecto de la Exposición en el Desarrollo de Plantaciones Mixtas en la IX Región. Tesis de grado presentada para optar al título de Ingeniero Forestal - Universidad Austral de Chile - Facultad de Ciencias Forestales - Valdivia. 78 p.

Siebert, H., 1994. Aspectos Prácticos de la Silvicultura del Aromo Australiano. Tercer taller silvícola - Diversificación y Silvicultura: nuevas experiencias. Concepción, Chile, Octubre 1994. 6-16 p.

Simmons, M. H., 1987. Growing Acacias. Kangaroo Press Pty Ltd. 72 p.

Schlatter J, V. Gerding y J. Adriaola, 1997. Sistema de Ordenamiento de la Tierra. Herramienta para la Planificación Forestal Aplicada a las Regiones VII, VIII y IX. Serie Técnica, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 91 pp.

Toledo, I., 1997. Determinación de las Características de Crecimiento de un Rodal Mixto de *Eucalyptus globulus* L. y *Acacia melanoxylon* R.Br... Tesis de grado presentada para optar al título de Ingeniero Forestal - Universidad Austral de Chile - Facultad de Ciencias Forestales - Valdivia. 53 p.

Yañez, M. G., 1996. Análisis de Crecimiento en Plantación Mixta de *Eucalyptus globulus* Labill. con *Acacia melanoxylon* R.Br. Tesis de grado presentada para optar al título de Ingeniero Forestal - Universidad Austral de Chile - Facultad de Ciencias Forestales - Valdivia. 85 p.

PLANTACIONES DE ACACIA UNA OPCIÓN DE GESTIÓN FORESTAL PARA PROPIETARIOS FORESTALES

Juan Carlos Pinilla S.¹; María Paz Molina B.²; Marta González³

RESUMEN

Desde hace varios años el Instituto Forestal (INFOR) viene desarrollando proyectos de investigación relacionados con nuevas especies en la búsqueda de lograr una mayor diversidad productiva. Dado que ya se tiene una referencia general sobre la importancia económica de comportamiento y desempeño de ciertas especies forestales, es conveniente incorporar estos resultados a un nivel más operacional, de tipo demostrativo, con el fin de apoyar la economía agrícola-forestal, ya sea como negocio complementario o alternativo para los propietarios.

Dentro del conjunto de nuevas especies forestales de interés comercial se encuentran algunas del género *Acacia*, las cuales han demostrado interesantes resultados en el país en función de su crecimiento y aptitudes de uso. Su madera presenta usos alternativos (pulpa para papel, maderas redondas, madera aserrada), sus flores proporcionan miel de calidad y es considerada una excelente especie para la recuperación de suelos, principalmente por su propiedad fijadora de nitrógeno. Estos usos son complementarios y requieren turnos cortos de rotación, características que la convierten en un recurso económico interesante de aprovechar por parte de los propietarios y la industria forestal local.

Para su difusión INFOR ha implementado un programa de transferencia tecnológica, que dentro de sus actividades ha contemplado establecer Unidades Demostrativas de *Acacia*, evaluar su desarrollo local y hacer difusión y capacitación como medio de extensión y fomento a su uso como alternativa productiva para el país. Para esto se apoya en instituciones públicas y operadores forestales relacionados con el tema, como parte de la estrategia para la promoción.

Es presentada la metodología utilizada para el establecimiento de las unidades y la transferencia de conocimientos técnicos y comerciales, en la búsqueda de la masificación y uso de las acacias por parte de propietarios y empresas.

Palabras claves: *Acacia, dealbata, A. meamsii, A. melanoxylon*, transferencia tecnológica.

¹ Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Casilla 109-C, Concepción, jpinilla@infor.cl

² Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Casilla 109-C, Concepción.

³ Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Casilla 109-C, Concepción.

ACACIA PLANTATIONS A FOREST MANAGEMENT ALTERNATIVE FOR FOREST LANDOWNERS

SUMMARY

For several years the Forest Institute has been developing research projects related to the introduction of new species, for increasing the productive diversity. Since there is already a general reference of the economic importance of the performance of certain forest species, it is convenient to demonstrate these results at an operational level, with the purpose of supporting the agricultural-forest economy as either a complementary or alternative business.

Among the new forest species of commercial interest are considered some *Acacia* species, which have demonstrated interesting aptitudes for their use in Chile. Their wood presents alternative (pulp for paper, sawed wood, honey, and recovery of floors) and complementary uses, even with short rotation shifts. These characteristics convert *Acacia* into an interesting economic resource to take advantage for the local forest industry.

For their promotion INFOR has developed activities that have the objective of establishing Demonstrative Units of plantations, to monitor its growth, transfer technology and training people as a way to promote its use as a productive alternative for Chile, relying on public institutions and forest operators related with the theme, as part of the strategy for the promotion of the species.

This document presents the methodology used for establishing the units, their results and the transferred technical and commercial knowledge, looking for their propagation and their use by landowners and companies.

Keywords: *Acacia, dealbata, A. mearnsii, A. melanoxylon*, technology transfer

INTRODUCCIÓN

En el sector agrícola los suelos ofrecen múltiples aptitudes de uso y constituyen una fuente importante para la generación de productos y riqueza, siempre y cuando sean utilizados correctamente. Una inadecuada utilización del suelo se relaciona con las pérdidas de capacidad productiva y por ende en abandono de las tierras y pobreza. Es por lo tanto importante y necesario incorporar las superficies plantadas, o por plantar, a los programas de manejo forestal, tendiendo a la ordenación de las masas forestales y a la formulación de programas y esquemas de producción, considerando métodos silviculturales, de manejo y de comercialización que permitan aportar el mayor valor monetario a estos bosques.

El Instituto Forestal ha promovido la diversificación forestal productiva, aportando información con antecedentes sobre crecimientos, rendimientos y valor económico de algunas especies forestales. Existen amplios sectores improductivos desde el punto de vista de la agricultura o de suelos degradados susceptibles de recuperación mediante plantaciones con estas especies.

El género *Acacia* cuenta con especies forestales de interés comercial, cuya madera presenta usos alternativos y complementarios a las especies tradicionales en turnos de cosecha reducidos. Es el caso de *Acacia mearnsii*, *A. melanoxylon* y *A. dealbata*, las cuales han respondido muy bien a las condiciones edafoclimáticas locales, desarrollándose con rapidez, presentando un crecimiento acelerado y con variedad de usos (recuperación de suelos por ser una especie nitrificante, producción de materia prima para pulpa, leña y miel, entre otras). Estas características la convierten en un recurso económicamente interesante de aprovechar por parte de la industria forestal local (NAS, 1980; Pinilla, 2000; Pinilla *et al.*, 2000).

La investigación realizada hasta la fecha confirma que desde el punto de vista de crecimiento, aptitudes tecnológicas y potencialidades de uso, estas especies se constituyen en una interesante alternativa de producción, lo cual permite orientar a eventuales usuarios o clientes acerca del cultivo y manejo de este recurso y su potencial productivo. Existe ya información también para definir las mejores procedencias para cada área geográfica de interés, así como las primeras orientaciones en relación con las prescripciones de manejo que permitan alcanzar los objetivos de producción.

Dados estos antecedentes, es preciso que en el ámbito industrial (madera, papel y taninos) se incorpore acacias como especies de intereses comerciales y complementarios a las especies tradicionales. Se destaca la necesidad entonces, de realizar un esfuerzo de transferencia a mayor escala para su difusión y uso. Esta transferencia se orientar hacia los organismos pertinentes, dando a conocer las bondades forestales junto a los antecedentes técnicos necesarios.

En este contexto, se ha iniciado una serie de actividades de transferencia directa. Algunas de estas se refieren a la instalación de Unidades Demostrativas de *Acacia*, en las cuales junto con presentar en terreno a las especies, se posibilita evaluar su desarrollo local

y la investigación en torno a distintas procedencias/progenies a utilizar (INFOR, 2001).

Es una oportunidad también de promover líneas de investigación y de desarrollo innovativo que permitan conjugar aspectos como la recuperación de suelos degradados y el mejoramiento de las condiciones de establecimiento y supervivencia de las plantaciones con la generación de productos intermedios de alto valor económico, ecológico y social.

Es necesario promover también el uso del mejor material genético disponible en las plantaciones, acorde a las condiciones de sitio de cada lugar, y la aplicación de técnicas silvícolas intensivas, con el fin de obtener material adecuado para un aprovechamiento industrial de nuevos productos y procesos. Para la implementación de este programa de transferencia se ha instalado una serie de parcelas demostrativas con *Acacia dealbata*, *Acacia mearnsii* y *Acacia melanoxylon*, en distintas zonas del país.

La materialización y validación de adecuados modelos de predicción (crecimiento y rendimiento), la ampliación de la base genética de *Acacia* en el país, la implementación operativa de una estrategia de mejoramiento genético, la masificación del uso de estas especies y el desarrollo de nuevos productos con mayor valor agregado, son elementos que deben contribuir a aumentar el interés de empresas y pequeños propietarios por el cultivo de acacias.

OBJETIVOS

Establecer Unidades Demostrativas de *Acacia* con el fin de evaluar su desarrollo y transferir y capacitar in-situ a potenciales productores forestales, de modo de fomentar su uso como alternativa productiva.

Transferir conocimientos técnicos y comerciales de la especie a diferentes actores del sector, incluyendo profesionales del sector público, operadores de transferencia y extensión, empresas y propietarios particulares.

Efectuar seguimiento y mantener bajo manejo silvicultural las unidades con el fin de evaluar su desarrollo y las necesidades de tratamientos que mejoren la productividad y transferencia de dichos resultados.

METODOLOGÍA GENERAL

Las actividades para la instalación de las unidades demostrativas incluyeron cosecha de semillas, producción y mantención de plantas en el vivero de INFOR en su sede Bio Bio, preparación de los sitios de plantación (cercos, subsolado, control de malezas), plantación, control de malezas, fertilización y control de malezas posterior.

Se instaló unidades demostrativas entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, sobre suelos forestales o suelos agrícolas o ganaderos degradados y cercanos a camino con acceso todo el año con el fin de poder visitar las unidades en cualquier oportunidad.

Cada unidad tiene 1 a 2 ha plantadas con *Acacia melanoxylon*, *A. dealbata* y *Acacia mearnsii*. Se utilizaron plantas producidas en contenedores individuales de 100 cm³ de capacidad y la densidad de plantación fue de 1.667 plantas/ha.

Las semillas utilizadas en las unidades provienen de árboles seleccionados desde ensayos de INFOR (Antiquina y Nacimiento, Región del Bio Bio; Mafil, Región de La Araucanía) (Pinilla, 2001), originalmente establecidos con semilla australiana. Algunas de las unidades (4) además de su carácter demostrativo incluyen ensayos procedencia/progenie con un diseño experimental adecuado a este fin.

Conjuntamente, la metodología incluye la utilización de diversas herramientas para la difusión y transferencia de los conocimientos técnicos y comerciales de las especies.

Los sitios para estas unidades fueron seleccionados en colaboración y coordinación con personal del sector público, empresas y propietarios participantes, con quienes se efectuó reuniones de discusión y planificación y visitas previas a diferentes lugares hasta seleccionar los definitivos.

Estas actividades han contemplado además, la edición de documentos técnicos y material de divulgación y su distribución, la realización de giras de transferencia, seminarios de trabajo, entrega de semillas y plantas y la debida señalización guía en cada unidad.

RESULTADOS

Unidades Demostrativas

- Producción de Plantas

En la producción de plantas para la instalación de las unidades demostrativas con acacia se utilizó semillas obtenidas de árboles plus seleccionados en distintos ensayos del Instituto Forestal, establecidos anteriormente con plantas originadas en semilla de procedencias identificadas, encargada a CSIRO de Australia. Los árboles plus fueron seleccionados de entre las procedencias con mejor crecimiento y adaptación en los ensayos anteriores y son las identificadas en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
PROCEDENCIAS DE SEMILLAS DE ACACIAS

ESPECIE	PROCEDENCIA	LUGAR DE ORIGEN		
		LAT. S	LONG. E	ALTITUD (msnm)
<i>A. dealbata</i>	16385 SSE Snug (Tasmania)	43°06'	147°14'	143
	16384 S Orford (Tasmania)	42°41'	147°52'	120
<i>A. mearnsii</i>	16266 8 km of Orbost (VIC)	37°37'	148°29'	-
	16268 Bombala- Dalgety	36°40'	149°08'	860
<i>A. melanoxylon</i>	Antiquina Chile	38°18'	73°21'	30

La producción de plantas se efectuó en el vivero de la Sede Bio Bio de INFOR en Concepción, mediante protocolos de viverización desarrollados en investigaciones anteriores, que se inician con un pretratamiento de la semilla en agua hirviendo durante 1 min y remojo posterior por 12 a 24 h. Las plantas fueron producidas en contenedores cuadrados de material plástico y 100 cm³ de capacidad de sustrato y éste fue una mezcla de 3, 1, 3, 1 partes de arena, corteza, perlita y turba, respectivamente, y previamente esterilizado. La profundidad de siembra es igual a dos veces el diámetro de la semilla.

Para estas especies y en la zona de Concepción, la época de siembra adecuada es octubre. La siembra es directa a los contenedores, se emplea dos semillas por unidad y se selecciona una plántula posteriormente. Entre 28 y 30 días después de la siembra se obtuvo un 80 % de germinación. En julio del año siguiente las plantas están en buenas condiciones para ser trasladadas a terreno para la plantación. Durante el período en el vivero las plantas son sometidas a reforzamiento nutricional, tratamientos fitosanitarios preventivos, cuidadoso riego y finalmente un acondicionamiento previo a la extracción.

- Selección Sitios

A partir de la información de INFOR y de diversas reuniones con actores del sector se analizó numerosos sitios y se seleccionó los definitivos de acuerdo a su ubicación, superficie disponible, accesibilidad y representatividad de los sitios y condiciones a las que se pueden extender las plantaciones de acacias posteriormente.

Es importante destacar la recepción por parte de los propietarios a esta iniciativa, ofreciendo sus predios y bosques para este y otras posibles investigaciones de INFOR. Igualmente aportaron con insumos para la instalación de las unidades.

La selección preliminar de sitios abarcó diversas comunas entre las Regiones de Valparaíso y La Araucanía y fueron escogidos finalmente nueve lugares (Cuadro N° 2) en donde fueron instaladas las unidades el año 2005.

Se trata en general de áreas que han estado anteriormente bajo uso agrícola, terrenos de lomajes o depresiones suaves, erosionados incluso con presencia de cárcavas. Se encuentran cercanos a caminos y las distintas áreas presentan también plantaciones de pinos o eucaliptos.

Cuadro N° 2

UNIDADES DEMOSTRATIVAS DE PLANTACIONES DE ACACIAS ESTABLECIDAS EN EL AÑO 2005

Unidad	Sector	Región	Superficie (ha)	Especies (1)
1	La Ligua	Valparaíso	2	Dea - Mea
2	Chanco (Reloca)	Maule	2	Dea - Mea
3	Cauquenes (Coronel de Maule)	Maule	2,5	Dea - Mea - Mel
4	Pelarco	Maule	1,5	Dea
5	Cabrero	Bio Bio	2,2	Dea - Mea - Mel
6	Traiguén	Araucanía	2,2	Dea - Mea - Mel
7	Parral (Cuyumillaco)	Maule	1	Dea - Mea
8	Parral (Paso Hondo)	Maule	2	Dea - Mea
9	Parral (Cophue)	Maule	3	Dea - Mea
TOTAL			18,4	

(1): Dea: A. Dealbata Mea: A. Mearnsii Mel: A. melanoxylon

- Instalación de las Unidades

Las unidades demostrativas fueron instaladas durante los meses de julio a septiembre, incluyen la debida protección con cercos para evitar daño por animales, se aplicó herbicidas pre y post plantación para reducir o eliminar competencia de malezas, fertilización básica y la incorporación de un gel bajo cada planta para conservar humedad. La preparación de suelos consistió en subsolado a 70 cm de profundidad, líneas separadas por 3 m, y la plantación sobre la línea se espació a 2 m. Finalmente se instaló señalización en cada una de las unidades.

Las plantaciones en cada unidad cubren en promedio 2 ha, como indica el Cuadro N° 1, sólo 3 incluyen las tres especie y una contiene sólo *Acacia dealbata*.

Las unidades La Ligua, Pelarco, Traiguén y Parral (Copihue) incluyen ensayos procedencia progenie de *A dealbata* y *A mearnsii*, *A dealbata*, *A melanoxylon* y *A mearnsii*, respectivamente, establecidos en un diseño de bloques al azar.

- Mantenimiento y Control de las Unidades

Cada unidad luego de su instalación está siendo constantemente monitoreada, con el objetivo de asegurar la supervivencia de las plantas, y sometida a intervenciones químicas o manuales de control de malezas cuando se hace necesario. Periódicamente se efectúa mediciones de los parámetros de rodal para evaluar el desarrollo de las plantaciones y de los ensayos, en la unidades en que los hay, para medir y comparar el comportamiento de las especies/procedencias/progenies en cada unidad y entre unidades.

Transferencia Tecnológica

Se ha realizado una serie de charlas de difusión, giras tecnológicas y seminarios de trabajo, en los cuales se revisa las unidades en terreno o la información obtenida de éstas con diversos grupos de profesionales y propietarios del sector, compartiendo conocimientos técnicos y comerciales sobre estas especies. Estas actividades de transferencia y difusión son:

- Edición de material de divulgación (Dípticos, Documentos Técnicos)
- Visitas a ensayos de Especies y Procedencias de *Acacia* en diferentes lugares del país.
- Visitas a Unidades Demostrativas
- Entrega de semillas y protocolos de viverización (Manual)
- Difusión en medios de prensa nacionales y extranjeros e Internet (Red)
- Participación en Congresos

En general, se destaca en estas actividades el rápido crecimiento de estas especies y sus aptitudes para diferentes usos, con resultados de otras líneas de investigación de INFOR; se discute sobre la silvicultura necesaria, en materia de semilla, viveros,



establecimiento y manejo posterior; su aptitud para recuperar y mejorar suelos degradados; y otras bondades de estas especies, tanto para pequeños y medianos propietarios como para empresas mayores.

En cuanto a su productividad, en ensayos de INFOR (Antiquina, Nacimiento) y en rodales establecidos, presentan rendimientos volumétricos comparable al de pino radiata o eucalipto, con una media de 20 a 25 m³/ha/año para el caso de *Acacia dealbata*, registrándose en sitios de buena calidad, valores máximos superiores (Pinilla, 2001).

Consultas recurrentes en las actividades de transferencia son si estas especies serían objeto de incentivos estatales a través del DL. 701, cuáles son los esquemas de plantación y manejo más adecuados, los tipos de usos y productos, la longitud de las rotaciones de cosecha y los precios de los productos.

En relación al incentivo del Estado para la forestación, son especies objeto del beneficio del DL 701. Respecto de los productos se aclara que, aparte de su capacidad recuperadora de suelos, estas especies son utilizables para la producción de celulosa (astillas con destino a Japón) en combinación con eucalipto, son valiosas para la producción de leña y la producción de miel y en otros países su madera es utilizada también en la fabricación de muebles y chapas.

Respecto del manejo silvícola, se recomienda que si este se orienta a la producción de pulpa, las plantaciones debieran tener densidades iniciales de 1.200 a 1.800 arb/ha, para una rotación de 9 a 12 años. Bajo este esquema se estima volúmenes de 200 a 250 m³/ha de madera en pie (cifras conservadoras de acuerdo con situaciones observadas en terreno).

En cuanto a los costos alternativos por utilizar esta especie, se comenta que se debe considerar que, dadas sus características nitrificantes, son apropiadas para la recuperación de suelos. En áreas degradadas su uso significa un ahorro frente a la utilización de especies tradicionales como el pino o el eucalipto, las cuales sufren una alta mortalidad y reducción del crecimiento en condiciones de suelo desmedradas. En sitios muy erosionados, su uso debe ser complementado con medidas mecánicas de protección de suelos.

En síntesis, el avance en la investigación forestal con estas especies es:

Acacia melanoxylon y *Acacia dealbata* son especies tempranamente seleccionadas como de buena adaptación y crecimiento en diferentes zonas del país, su introducción a Chile data de fines del Siglo XIX e inicios del Siglo XX. La investigación sobre manejo silvícola para ellas se efectuó en líneas de investigación de INFOR desde fines del siglo pasado. Sus aptitudes tecnológicas para diferentes usos o productos han sido definidas más recientemente por INFOR en trabajos de investigación desarrollados a partir del año 2000.

Acacia mearnsii fue introducida a Chile por INFOR en la década de los 80 del siglo pasado y se probó una buena adaptación y crecimiento de ésta tanto en la zona semiárida como en zonas subhúmedas. Junto con esto se ha confirmado con material de plantaciones locales su aptitud para generar curtientes vegetales (taninos) de buena

calidad, tanto en investigaciones desarrolladas en los 80 como en otras más recientes. También se ha definido las técnicas silvícolas más adecuadas para su manejo.

Para las tres especies se ha seleccionado ya procedencias de semilla adecuadas para diferentes zonas del país a partir de colecciones de procedencias traídas de sus lugares de origen en Australia. Se está desarrollando investigación complementaria de selección de progenies desde los ensayos anteriores para implementar a continuación un programa de mejoramiento genético, apoyado por técnicas de biotecnología para fijar en un menor plazo las ganancias obtenidas en éste.

CONCLUSIONES

Algunas conclusiones derivadas de la aplicación del programa de transferencia tecnológica y difusión son las siguientes:

Los pequeños propietarios presentan gran interés por el tema, especialmente los pertenecientes a las comunas más afectadas por la erosión y que presentan grandes superficies de cárcavas y suelos muy degradados.

Se destaca la entusiasta recepción de los participantes por utilizar estas especies en terrenos donde otras no han tenido buenos resultados, consultando por fuentes de abastecimiento de plantas.

INFOR puede proponer adecuados esquemas de plantación y manejo, a la vez que precisar los productos factibles de obtener.

Este tipo de acción es un adecuado ejemplo de cómo se puede afectar positivamente, a través del fomento, gestión y extensión forestal, a la calidad de vida de pequeños propietarios forestales.

Se prevé un déficit de oferta de plantas de esta especie, lo que se constituye en una oportunidad para los viveristas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del proyecto FDI-CORFO 02C8FD-13 "Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a Especies de Acacia Probadas en Chile", así como al personal de las empresas y propietarios particulares, sin los cuales esta investigación no se hubiera materializado.

REFERENCIAS

INFOR, 2001. Incorporación de Especies del Género Acacia a la Producción Forestal Chilena. Informe de Avance. INFOR - CORFO. Concepción. 126 p.

National Academy of Sciences, 1980. Firewood Crops. Shrubs and Tree Species for Energy Production. Vol. 1. Washington D.C. National Academy Press. 237p.

Pinilla, J.C., 2000. Descripción y Antecedentes Básicos sobre Acacia dealbata, A. melanoxylon y A. mearnsii. Revisión Bibliográfica. Santiago, Chile, INFOR-CORFO. Informe Técnico 147. 49p.

Pinilla, J. C.; Molina, M. P.; Villarroel, A. y Gutiérrez, J., 2000. Primeros Resultados de un Ensayo de Especies y Procedencias de Acacia en la VIII Región. En: Actas 1º Simposio Latinoamericano sobre Manejo Forestal. (Santa María, Brasil, 9-10 de noviembre 2000). Santa María, Brasil, Universidad Federal de Santa María.

Pinilla, J.C., 2001. Antecedentes de Crecimiento y Rendimiento para Especies del Género Acacia en Chile. Actas Seminario Final Proyecto FDI: Incorporación de Especies el Género Acacia a la Producción Forestal. INFOR. Concepción, Enero 2001. 17p.

Pinilla, J.C.; Molina, M.P., Gutiérrez, B. y Gutiérrez, J., 2002. Incorporación de Especies de Acacia al Desarrollo Forestal Productivo: Avances De Investigación. En Actas: Primer Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 23-25 Octubre.

ESPECIES FORESTALES CON DIVERSIDAD DE USOS EN UN BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO DE LA COMUNIDAD INDÍGENA DE TOMATLAN, JALISCO, MÉXICO

Maria Leonor Román Miranda¹, Antonio Mora Santacruz²,
Servando Carvajal Hernández³ y Héctor Ochoa Ruiz.⁴

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue identificar especies forestales y la diversidad de usos para ser integradas en sistemas agroforestales. La investigación fue realizada en la Comunidad Indígena de Tomatlán, Municipio de Tomatlán, Jalisco, México, con base a recorridos de campo, encuestas a productores ganaderos sobre especies forrajeras e información bibliográfica. Se identificó 50 especies, colectando ejemplares de herbario para su correcta identificación botánica en el (IBUG). Las especies fueron agrupadas por importancia maderable, uso forrajero, leña, medicinal y como fuente de taninos para curtiduría. Se tomó muestras de la parte comestible para análisis bromatológicos, para determinar materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fracciones de fibra; fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA).

Los resultados indican la presencia de especies maderables, como *Hura polyandra* Baill y *Cordia eleagnoides* DC; algunas cuya madera es utilizada para la construcción, como *Caesalpinia sclerocarpa* Standl y *Pirahnea mexicana* Standl; diversas especies del género *Acacia* utilizadas para leña, entre las que se cuentan *Acacia macilenta* Rose, *A. acatlensis* Benth, y *A. aff macilenta*; algunas especies de uso forrajero entre las que predominan las de la Familia *Leguminosae*, donde los frutos son un recurso importante de alimento principalmente en la época seca, como en *Acacia acatlensis* y *A. macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd.; especies multipropósito como cascalote *Caesalpinia coriaria*, [(Jacq) Willd)], importante por su alto contenido de taninos en los frutos (33,00 y 7,3 % de taninos pirogálicos y catequínicos, respectivamente) y por su uso forrajero en los agostaderos; y como especie medicinal por su abundancia y utilización destaca *Amphipterigium adstringens* Schiede. Otro uso de las especies arbóreas es la producción de néctar y polen para la apicultura. Se concluye que por la diversidad de usos de estas especies y la abundancia de algunas de ellas, representan una opción valiosa para ser integradas en sistemas agroforestales en el trópico seco.

Palabras clave: Especies multipropósitos, maderable, calidad nutritiva, trópico seco y arbóreas.

¹Universidad de Guadalajara, México rmm32103@cucba.udg.mx

²Universidad de Guadalajara, México. msa19076@cucba.udg.mx

³Universidad de Guadalajara, México. scarvaj@ucba.udg.mx

⁴Universidad de Guadalajara, México hochoa@dmcp.cucba.udg.mx



FOREST SPECIES WITH DIVERSIFIED USES IN A DECIDUOUS TROPICAL FOREST IN THE INDIGENOUS COMMUNITY OF TOMATLAN, JALISCO, MEXICO

SUMMARY

The objective of this study was to identify forest species and their diversity of use to be integrated in agroforestry systems. The site of study was the Indigenous Community of Tomatlan, in Tomatlan Jalisco, Mexico, based on field trips, surveys taken from several producers about foraging species and bibliographic information.

About 50 species were identified and specimens were collected for their correct identification at the herbarium of IBUG, University of Guadalajara. The species were grouped by importance and potential: wood, foraging, firewood, medicine and as a source of tannins for leather treatment. Samples were taken from the eatable parts of the plants for bromatologic analysis to determine dry matter (DM), crude protein (CP) and fiber fractions; neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF).

Results indicate the presence of wooden species such as *Hura polyandra* Baill and *Cordia eleagnoides* DC; others used as construction wood like *Caesalpinia sclerocarpa* Standl and *Pirahnea mexicana* Standl. The most used as firewood species are those from the genus *Acacia* amongst them: *Acacia macilenta* Rose, *A. acatlensis* Benth, and *A. macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd. In the foraging use the most predominant species are from the family *Leguminosae*, where the fruits are an important food resource, specially during the dry season, and among these species are also the same species cited above of Genus *Acacia*. In the group of the multipurpose species, the Cascalote *Caesalpinia coriaria*, [(Jacq) Willd)] is an important one because of its high content of tannins in the fruits (33,00 and 7.5% of pirogalic and catequinic taninns, respectively), besides the foraging use in summer pasture. As a medicinal species because its abundance and use *Amphipterigium adstringens* Schiede has to be mentioned. Another use of tree species is production of nectar and pollen for apiculture. It is concluded that for the diversity of uses of these species and abundance of some of them, they represent a valuable option to be integrated in agroforestry systems at the dry tropic.

Keywords: Multipurpose species, wooding, nutritional quality, dry tropic, tree.

INTRODUCCIÓN

México es un país que, por sus características edáficas, topográficas y climáticas, presenta una riqueza importante de flora y fauna, principalmente por su diversidad en especies vegetales localizadas en los tipos de vegetación de selvas o bosques tropicales, bosques templados y zonas semiáridas.

Sin embargo, el incremento de la población demográfica ha ocasionado una tasa de deforestación muy elevada, principalmente para actividades agropecuarias, con el objeto de producir alimentos, es así como el bosque húmedo tropical, que en el pasado cubría el 6 % del país, se ha reducido de una manera alarmante; y los mismo ocurre en otros ecosistemas, entre ellos el bosque tropical caducifolio (Rzewdoski, 1983). No se ha dado debida importancia a que existe un gran número de especies arbóreas y arbustivas que pueden ser utilizadas como recursos genéticos, maderables y aprovechamiento de sustancias químicas, como taninos y alcaloides, o como alimento para la ganadería y fauna silvestre, principalmente en la época seca.

En el Estado de Jalisco, se presenta una diversidad de comunidades vegetales, dentro de éstas el Bosque Tropical Caducifolio (o Selva Baja Caducifolia) (Miranda y Hernández, 1963), uno de los ecosistemas de mayor extensión en el Estado (COTECOCA, SARH, 1979).

En la Comunidad Indígena de Tomatlán, Jalisco, se encuentra este tipo de vegetación, el cual se caracteriza por ser una comunidad que contiene un alto porcentaje de la flora del país. Debido a las características tan diversas donde se desarrolla, presenta componentes de diferentes alturas, así en este sitio, se encuentra formada por árboles de baja altura normalmente de 4 al 10 m, muy eventualmente de alturas de 15 m o más, generalmente formado por especies caducifolias, que en la época seca o más fría del año, tiran las hojas. El estrato herbáceo es ralo y solo aparece en la época de lluvias. Dentro de las especies que caracterizan este tipo de vegetación se encuentran: tepemezquite, *Lysiloma microphyllum*, Benth; copalillos, *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., *B. copallifera* (DC.) Bullock, *B. palmeri* S. Watson; pochote, *Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten & Baker f.; *Acacia acatlensis* y cascote, *Caesalpinia coriaria*. En el sitio de estudio también se encontró en cañadas o áreas más húmedas habillo, *Hura polyandra*; bonete, *Jacaratia mexicana* A. DC.; barcino, *Cordia eleaegnoides*; y cuachalalate, *Amphipterigium adstringens*, entre otras.

Especies muy apreciadas por su madera se encuentra el habillo (*Hura polyandra*) y barcino (*Cordia eleaegnoides*), varias especies de leguminosas se aprovechan como fuente de forraje, otros usos importantes es la utilización de la madera para construcción como el guayabillo borcelano, *Pirahnea mexicana* y una especie de gran potencial para ser utilizada en curtiduría el cascote, *Caesalpinia coriaria*, así como el cuachalalate de uso medicinal *Amphipterigium adstringens*.

Por lo anterior, la identificación de especies y la diversidad de usos, representan información valiosa para el aprovechamiento bajo manejo integral y sustentable de estos recursos, lo cual coadyuvará a elevar los ingresos económicos en la Comunidad Indígena, así como a lograr un mayor respeto por las especies autóctonas, asegurar su conservación y permitir la permanencia de la biodiversidad en estos ecosistemas.



OBJETIVO

Identificar las principales especies del Bosque Tropical Caducifolio en el Estado de Jalisco, de acuerdo a sus múltiples funciones en términos de madera, combustible, forraje, productos químicos, resaltando sus usos locales y potenciales en el área de estudio, como una contribución al manejo sostenible de este recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Comunidad Indígena de Tomatlán, Jalisco, ubicado dentro de las coordenadas geográficas de 19° 50' 00" a 19° 48' 30" de latitud norte y los 105° 20' 00" a 105° 18' 30" de longitud oeste. Con una altitud de 0 hasta 300 m. De acuerdo a la Clasificación Climática de Köppen, con las modificaciones de García (1988), el clima que predomina en el área es el Cálido Subhúmedo con lluvias en verano $Aw_0(w)$, con una precipitación media de 400 a 500 mm al año y una temperatura media anual de alrededor de 27 °C.

El trabajo está basado en observaciones directas de especies que consume el ganado a libre pastoreo en los agostaderos, revisiones bibliográficas, una encuesta a ganaderos de la zona costera del Estado de Jalisco e inventarios forestales de la zona de estudio.

El aprovechamiento de las especies maderables se sigue mediante un plan de manejo basado en la regeneración natural, con la corta de árboles sobre maduros.

En cuanto a la utilización de las especies forrajeras se colectó material comestible, para análisis bromatológicos, determinándose materia seca (MS), proteína cruda (PC), grasa, cenizas y extracto libre de nitrógeno (ELN) (AOAC, 1990). Se determinó también fracciones de fibra de las especies más abundantes en la zona de estudio: fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA) según técnica de Van Soest y Wine (1967). Los análisis fueron realizados en el laboratorio de bromatología del Departamento de Producción Animal, CUCBA, de la Universidad de Guadalajara.

En relación a los taninos de cascalote, *Caesalpinia coriaria*, éstos se obtuvieron de un extracto de la harina del fruto retenido en un tamiz 0,25 mm, previa molienda en un desintegrador Retz, extraído a una temperatura de 70 °C.

La calidad de los curtientes se evaluó según el método ALCA (1946). El contenido de taninos catequínicos se determinó según el número de Stiasny (Yazaki y Hillis, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados resaltan la riqueza biológica de especies arbóreas presentes en este tipo de vegetación y su diversidad de usos. Así por ejemplo, aquellas con uso maderable, como habillo, *Hura polyandra*, una de las especies más comercializadas para aserrío en la zona de estudio; y barcino, *Cordia eleagnoides*, muy apreciado por la calidad de su madera,

que es utilizada en la zona para la elaboración de muebles rústicos. Otra especie valiosa muy empleada es guayabillo borcelano, *Pirahnea mexicana*, la cual se usa en la construcción como postes y vigas para las "palapas", que por la cercanía de un sitio turístico como es Puerto Vallarta tiene gran demanda para este tipo de construcciones, ya que su madera resiste las inclemencias atmosféricas, así como ciertas plagas que atacan a la madera. *Caesalpinia sclerocarpa* es otra especie utilizada como postes para cercas y para la construcción, pero con menor demanda que la anterior.

Todas las especies se extraen de bosques naturales. *Hura polyandra*, una de las más utilizadas, presenta regeneración natural en el área de estudio. Guayabillo, *Pirahnea mexicana*, por su parte, tiene un área de distribución más restringida y cuando se encuentra alrededor de centros poblacionales, tiene una mayor demanda, frecuentemente para postes ya sea de uso local o para su venta, lo que ocasiona una presión que disminuye su frecuencia en forma importante, por lo cual es conveniente fomentarla, para su conservación. En el Cuadro N° 1 se observa que dos especies pertenecen a la familia *Leguminosae* y dos a la familia *Euphorbiaceae*, y se aprecia los principales usos de algunas especies maderables.

Cuadro N° 1
ESPECIES MADERABLES MÁS UTILIZADAS EN LA COMUNIDAD INDÍGENA DE TOMATLÁN

Nombre Científico	Familia	Principal Uso
<i>Caesalpinia platyloba</i>	Leguminosae	Cercos vivos y como postes
<i>Caesalpinia sclerocarpa</i>	Leguminosae	Madera, utilizada para construcción y postes
<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	Madera para muebles muy apreciada por la belleza de su veteado.
<i>Hura polyandra</i>	Euphorbiaceae	Madera, para aserrio, utilizada para muebles
<i>Pirahnea mexicana</i>	Euphorbiaceae	Madera para construcción

Otro uso importante es la utilización de los filamentos en forma de algodón para la elaboración de almohadas y colchones en forma artesanal, con las especies de *Ceiba aesculifolia* y *Cochlospermum vitifolium*.

Como recurso medicinal, se encuentra el cuachalalate, *Amphiterygium adstringes*, la cual es utilizada por gran parte de la población, siendo objeto de sobreexplotación para este fin en el Estado de Morelos. Se le atribuyen propiedades para la cura de diversos padecimientos como problemas circulatorios, tal como lo indican Martínez (1992), INI (1994) y Rojas (2001), quienes reportan además otros usos tradicionales en la medicina, para aliviar enfermedades bucales, gastrointestinales, afecciones urinarias, heridas y enfermedades de la piel, entre otros.

Una especie multipropósito en la zona de estudio es cascalote, *Caesalpinia coriaria*, apreciada por su alto contenido de taninos en los frutos, con potencial para ser utilizada en la curtiduría, además de otros usos como forrajera, melífera y medicinal (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
ESPECIES MULTIPROPÓSITO EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE LA COMUNIDAD INDÍGENA DE TOMATLÁN

Nombre Científico	Familia	Usos
<i>Amphiterygium adstringes</i>	Julianaceae	Uso medicinal, para diversos padecimientos.
<i>Caesalpinia coriaria</i>	Leguminosae	Fuente de taninos, forrajera, melífera, medicinal.
<i>Ceiba aesculifolia</i>	Bombacaceae	Uso artesanal.
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Cochlospermaceae	Uso artesanal, medicinal, forrajera

En el Cuadro N° 3 se indica los resultados en contenido de taninos en los frutos de cascote, *C. coriaria*, de 33% de tipo hidrolizable y 7.3% de taninos catequínicos. Valores calculados con respecto de 100 gr de fruto base seca, respectivamente (% de taninos hidrolizables es igual al % de sólidos solubles menos el % de no taninos), y (% de taninos catequínicos es igual al % del extracto total por la relación del precipitado de la reacción de Stiasny (10.4) entre 100), siendo estos valores de taninos hidrolizables inferiores del rango de taninos que se menciona para el roble (50-70 %), tal como lo señaló (Carretero, 2000). Sin embargo hay que considerar que la obtención de los taninos de la *Caesalpinia coriaria* es en los frutos, lo que implica que el árbol no es dañado y contribuye además con otros uso importantes en el medio rural. Otros autores, señalaron un contenido total de taninos en los frutos de *C. coriaria* de 20 a 40 %, sin embargo, no se mencionan el tipo de taninos encontrados (López de Lara, 1984; Vallejo y Oviedo, 1994).

Cuadro N° 3
ANÁLISIS DEL EXTRACTO DE FRUTOS DE CASCALOTE *C. coriaria* EN PORCENTAJES

Extracto total*	Sólidos solubles*	No Taninos*	No. Stiasny**
70,4	68.5	35.5	10,4

* Análisis de taninos hidrolizables ** Taninos catequínicos

En materia forrajera, en el sitio de estudio predomina el tipo de vegetación de Selva Baja Caducifolia, compuesta principalmente por especies arbóreas y arbustivas leguminosas, las cuales representan una fuente de alimento para el ganado en pastoreo, el cual consume los frutos, principalmente en la época seca. Entre los géneros encontrados se encuentra *Acacia*, con especies como *A. acatensis*, y *A. macracantha*, con contenidos de proteína en base seca de 13,22 y 13,75 %, respectivamente, este último valor superior a lo señalado por Casado *et al.* (2001) quienes indicaron valores de 12,93 %. Otras especies presentes en el área de estudio son *Caesalpinia coriaria*, *C. sclerocarpa* y *C. platyloba*, con bajos contenidos de proteína; (4,84; 5,57 y 8,.01 %, respectivamente), valores inferiores a los reportados por Roncallo *et al.* (1996) y Godier *et al.* (1994), quienes obtuvieron valores de proteína cruda de 6,0 y 6,.0% para *Caesalpinia coriaria*. En general los contenidos de proteína de la mayoría de las especies están por arriba del nivel aceptable de 6% para vacunos en mantenimiento (NCR, 1981).

Los valores de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), fueron los más bajos para *C. coriaria* (8,18 y 10,30 %, respectivamente), lo cual indica su alta

digestibilidad al ser consumida por el ganado: Estos valores son inferiores a los señalados por Ceconello *et al.* (2003), quienes informaron para la especie 18,12 y 13,63 % para FDN y FDA, respectivamente. Sin embargo para la especie *Acacia macracantha* los valores encontrados en este estudio fueron más altos a los señalados por estos mismos autores; 45,70 y 36,96 % contra 35,59 y 34,80 % para FDN y FDA, respectivamente (Cuadro N° 4).

Cuadro N° 4
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS FRUTOS DE ESPECIES ARBÓREAS, CON BASE A MATERIA SECA (%), EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA

Especie	MS	PC	Grasa	Cenizas	ELN	FDN	FDA
<i>Acacia acattensis</i>	100	13.22	1.89	6.98	32.49	64.90	52.84
<i>Acacia macracantha</i>	100	13.75	0.73	4.46	45.15	45.70	36.96
<i>Acacia sp</i>	100	14.74	1.31	4.45	46.82	49.12	42.61
<i>Caesalpinia coriaria</i>	100	4.84	0.20	2.58	88.82	10.30	8.18
<i>C. platyloba</i>	100	8.01	3.40	5.38	28.45	76.62	50.52
<i>C. sclerocarpa</i>	100	5.57	0.32	2.93	80.65	68.97	43.12
<i>Lysiloma divaricata</i>	98.65	13.39	1.33	5.45	84.21	43.93	31.39

MS = materia seca, PC = proteína cruda, ELN = extracto libre de nitrógeno;

FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido

El follaje también es utilizado en ramoneo por los animales en pastoreo, representando un recurso de alimento fresco durante la época seca. En el Cuadro N° 5 se puede apreciar que los valores más altos en contenido de proteína cruda están representados por dos especies de la familia *Leguminosae*, con porcentajes 22,04 y 20,16 % para *Erythrina lanata* y *Lysiloma microphyllum*, coincidiendo con Clavero (1996), el cual indicó la importancia que tienen las leguminosas por su alto contenido de proteína, generalmente mayor del 18%. Sin embargo, existen otras especies con valores menores, caso de *Caesalpinia coriaria*, cuyo contenido de proteína cruda presenta valores similares a los reportados por García *et al.*, 1983, (citados por Matteucci y Colma, 1997) quienes señalan un contenido de proteína de (12.50%) en un estudio realizado en Venezuela.

Cuadro N° 5
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FOLLAJE COMESTIBLE DE ESPECIES ARBÓREAS, CON BASE A MATERIA SECA (%), EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA

Especie	MS	PC	Grasa	Cenizas	ELN	FDN	FDA
<i>Caesalpinia coriaria</i>	95.01	12.81	0.76	3.79	38.19	46.36	31.01
<i>Erythrina lanata</i>	56.82	22.04	4.10	8.27	37.37	--	--
<i>Hura polyandra</i>	92.54	9.10	3.76	9.14	52.18	39.34	35.41
<i>Lysiloma microphyllum</i>	96.56	20.16	2.91	4.69	44.84	--	--
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (flor)	97.83	13.18	1.63	8.06	53.26	53.04	48.42
<i>Spondias purpurea</i>	97.26	14.59	1.51	9.73	58.35	48.34	46.38

MS = materia seca, PC = proteína cruda, ELN = extracto libre de nitrógeno;

FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido

CONCLUSIONES

La diversidad de especies en este tipo de vegetación y sus múltiples usos, entre ellos el uso maderable, representan una opción, para ser utilizadas en forma integral de una manera económica y ecológicamente viable.

Las especies forrajeras en la zona de estudio, por la abundancia en algunas de ellas, su aceptación por el ganado y su calidad nutritiva, representan una fuente importante de alimentación, para el ganado y la fauna silvestre, principalmente durante la época seca.

Los frutos del cascalote, *C. coriaria*, son una fuente importante de taninos de origen vegetal los cuales pueden ser utilizados en la industria de la curtiduría, reduciendo el uso de taninos sintéticos.

REFERENCIAS

AOAC, 1990. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., E.E.U.U. pp 70

ALCA.

American Leather Chemists Association, 1946. Methods of Sampling and Analysis Cincinnati, Ohio.

Casado, C.; Benecia, M.; Colmenares, O. y Martínez, N., 2001. Evaluación del Bosque Deciduo como Recurso Alimenticio para Bovinos en los Llanos Centrales de Venezuela. *Zootecnia Trop.* 19 (2) 139-150

Carretero, M. E., 2000. Compuestos Fenólicos: Taninos. *Panorama Actual Médico;* 24 (235): 633-636.

Ceconello, G.; Benezra, M. y Obispo, N., 2003. Composición Química y Degradabilidad Ruminal de los Frutos de Algunas Especies Forrajeras Leñosas de un Bosque Seco Tropical. *Zootecnia Trop.*, 21(2): 149-165

Clavero, T., 1996. Las Leguminosas Forrajeras Arbóreas: Sus Perspectivas para el Trópico Americano. En: *Leguminosas Forrajeras Arbóreas en Agricultura Tropical.* Ed. Tyrone, Clavero. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela. pp 49-63

COTECOCA, SARH., 1979. Memoria de Tipos de Vegetación y Sitios de Productividad Forrajera de los Municipios de Michoacán y Colima.

García, E., 1988. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 4ta. Edición. México. 318p.

Godier, S.; Medina, J. M.; Waelput, J. J. y Brunschwig, G., 1994. Comportamiento Alimenticio de un Rebaño de Cabras en Pastoreo en una Finca Tradicional de la Región sur de Honduras. *Copilados de Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central.* Vol. 1 CATIE. Costa Rica. pp 217-235.

INI (Instituto Nacional Indigenista), 1994. Atlas de la Atlántida de Medicina Tradicional Mexicana. Volumen II. México, D.F. pp 585-1193.

López de Lara, O. M., 1984. Potencialidad Agronómica del Cascalote (*Caesalpinia coriaria*) como Fuente de Tanino Industrial para la Curtiduría Nacional. Tesis. ITESM

NCR (National Research Council), 1981. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press. Washington, D.C. pp 30-46.

Martínez, M., 1992. Plantas Medicinales de México. 6ª. Edición. pp 157-159

Mateucci, S.E y Colma A. Agricultura Sostenible y Ecosistemas Áridos y Semiáridos de Venezuela. Interciencia 22 (3): 123-130 URL: : <http://www.interciencia.org.ve>

Miranda y Hernández, 1963. Los Tipos de Vegetación de México y su Clasificación, Bol. Soc. Bot. Mex. 28: 29-179.

Rojas, A. M., 2001. Cuachalalate. Tlahuahi-Medic. No.11. En: <http://www.tlahui.com/medic11/cuachal1.htm>

Roncallo, B., Navas, A. y Garibella, A., 1996. Potencial de los Frutos de Plantas Nativas en la Alimentación de Rumiantes. Silvopastoreo: Alternativa para Mejorar la Sostenibilidad y Competitividad de la Ganadería Colombiana. pp 231-244

Rzedowski, J., 1983. Vegetación de México. Edit. Limusa, S. A., México, (Segunda reimpresión) pp 179-188

Vallejo, M. A y Oviedo, F. 1994. Características botánicas, usos y distribución de los principales árboles y arbustos con potencial forrajero de América Central. Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Copilado y Ed. Jorge Evelio Benavides pp 665-694.

Van Soest, P. J. y Wine, R. H., 1967. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feed. Determination of Plant Cell Wall Constituents. J. Assoc. Off. Anal. Chem. pp 50:50

Yazaki y Hills, W. E., 1980. Holzforchung 34, 125-130

ACÚMULO E CARACTERIZAÇÃO DA SERAPILHEIRA E FERTILIDADE DO SOLO EM COBERTURAS FLORESTAIS NO NORTE FLUMINENSE

Mirian Peixoto Soares da Silva¹, Antonio Carlos da Gama-Rodrigues²
e Deborah Guerra Barroso

RESUMO

Os objetivos do estudo foram avaliar diversas coberturas florestais da Região Norte Fluminense, relacionando o acúmulo de serapilheira, sua composição química e orgânica e a sua influência na melhoria da fertilidade do solo. Além de verificar o efeito de diluição nas amostragens de 0-5 e 0-10 cm para avaliação dos indicadores. Foram avaliadas quatro áreas degradadas: duas destas, revegetadas com espécies leguminosas arbóreas (*Acacia auriculiformis* – acácia e a outra com *Mimosa caesalpiniiifolia* – sabiá), uma pastagem e uma área em sucessão secundária (capoeira). Em todas as coberturas foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 0-10 cm para caracterização química, e amostras de serapilheira para caracterização química e orgânica (exceto para pastagem). Os componentes da serapilheira foram separados em folhas, galhos, estrutura reprodutiva e material fragmentado.

O acúmulo de serapilheira foi maior na cobertura de acácia, seguida pela capoeira e pelo sabiá. O maior acúmulo na cobertura de acácia pode estar relacionado a sua maior capacidade de produzir serapilheira ou que a decomposição e, ou, a renovação desta serapilheira seja mais lenta que as demais coberturas. Isso estaria relacionado à qualidade (orgânica e, ou química) do material produzido, determinando sua menor degradabilidade.

Para os atributos analisados, exceto Ca, a acácia foi a cobertura que apresentou os menores teores nutricionais e as maiores relações de Lignina/N e Polifenóis/N, mostrando ser um material mais recalcitrante quando comparado com às demais coberturas. A análise química do solo sob as coberturas plantadas mostrou que a serapilheira influenciou na melhoria da fertilidade do solo, principalmente, na profundidade de 0-5 cm.

Palavras chave: Ciclagem de nutrientes, recuperação de áreas degradadas, leguminosas arbóreas.

¹ Eng. Agrônoma, LFI/CCTA/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000 - Horto, 28013-602 Campos-RJ-Brasil, miriansoares@ig.com.br;

² Prof. LSOL/CCTA/UENF, tonygama@uenf.br;

ACCUMULATION AND CHARACTERIZATION OF THE LITTER FALL AND SOIL FERTILITY IN FOREST COVERINGS IN THE NORTH OF RIO DE JANEIRO STATE

SUMMARY

The objective of the study was evaluating diverse forest covers in the North of Rio de Janeiro's State, Brazil, according to litter accumulation and its influence on soil fertility improvement. Four degraded areas are evaluated; two of these replanted with leguminous tree species (*Acacia auriculiformis*, acácia and *Mimosa caesalpiniiifolia*, sabiá), a pasture and an area in secondary succession (naturally regenerated forest). Under each cover soil samples were collected in 0-5 and 0-10 cm depth per chemical characterization, and also litter samples per chemical and organic characterization (except for pasture). The components of the litter were separated in leaves, branches, structure and fragmented material.

The litter accumulation was bigger under Acacia cover, followed by the secondary succession and sabiá. The biggest accumulation under Acacia can be related to its better capacity to produce litter or may be the decomposition and renewal of this litter is slower than the other coverings. That would be related to a lower degradability of the produced material because of its organic or chemical quality.

Regarding to the analyzed attributes, except Ca, Acacia was the cover with smaller nutritional tenors and the biggest relations of Lignin/N and Polifenol/N, showing to be a more recalcitrant material when compared with the other covers. Soil chemical analysis under the planted covers showed that litter influenced the improvement of the soil fertility, mainly in the depth of 0-5 cm.

Keywords: Nutrient cycling, recovery of degraded areas, leguminous trees.

CARACTERIZACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE *LITTER* Y LA FERTILIDAD DEL SUELO BAJO DISTINTAS CUBIERTAS FORESTALES EN EL NORTE DEL ESTADO DE RIO JANEIRO

RESUMEN

El objetivo de este estudio es la evaluación de la acumulación de materia orgánica en el suelo bajo distintas cubiertas forestales y su influencia en el mejoramiento de la fertilidad de éste. Se evaluó cuatro áreas degradadas, dos de ellas plantadas con especies leguminosas arbóreas (*Acacia auriculiformis*, acacia, y *Mimosa caesalpinifolia*, sabiá), una de pasturas y una con regeneración natural nativa. Bajo cada una de estas cubiertas se colectó muestras de suelo a profundidades de 0 - 5 y 0 - 10 cm, para caracterización química, y muestras de *litter* para caracterización química y orgánica (excepto en el área de pasturas). Los componentes del *litter* fueron separados en hojas, ramas, estructura reproductiva y material fragmentado.

La acumulación de *litter* fue mayor bajo cobertura de acacia, seguida de la de regeneración natural y la de sabiá. La mayor acumulación bajo cubierta de acacia puede estar relacionada con su mayor capacidad de producir *litter* o deberse a que la descomposición de este material sea más lenta que bajo las otras cubiertas. Esto último podría estar relacionado con que la calidad química y orgánica del material producido determina una menor degradación.

Para los atributos analizados, con la excepción del Ca, la acacia fue la cubierta que presentón los menores tenores nutricionales y las mayores relaciones lignina/N y polifenol/N, mostrando ser un material más recalcitrante comparado con los de las otras cubiertas. El análisis químico del suelo bajo las cubiertas plantadas mostró que el *litter* incidió el mejoramiento de la fertilidad del suelo, principalmente en la profundidad 0 - 5 cm.

Palabras claves: Ciclo de nutrientes, recuperación de suelos, leguminosas arbóreas.



INTRODUÇÃO

Desde a colonização, o homem retira da natureza o seu sustento sem se preocupar com os possíveis danos ao ambiente. Com a Revolução Industrial, metade do Século XVIII, o processo de degradação foi acelerado, transformando radicalmente a vida tanto no campo como na cidade.

Desde então, a sustentabilidade dos ecossistemas vêm sendo comprometida pela contaminação do solo, pelo uso indiscriminado de agroquímicos, desmatamentos abusivos, queimadas, monocultivos, entre outros fatores. A falta de informação a respeito das conseqüências destes manejos adotados tem contribuído para intensificar ainda mais o processo de degradação.

Uma alternativa para minimizar esses efeitos é a manutenção ou implantação das coberturas florestais, que favorecem a deposição e o acúmulo de serapilheira no solo. Esta camada orgânica tem sido considerada o principal agente responsável pela ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais tropicais, mantendo a funcionalidade do sistema solo-planta, contribuindo positivamente para a reabilitação de áreas degradadas. A formação e a manutenção dessa camada garantem um reservatório de nutrientes, evitando que sejam perdidos por lixiviação ou erosão, sendo mineralizados lentamente (Andrade *et al.*, 2000).

Vários fatores bióticos e abióticos interferem na produção de serapilheira, como: tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, luminosidade, relevo, decíduosidade, estágio sucessional, disponibilidade hídrica e características do solo (Figueiredo Filho, 2003).

O tempo em que os nutrientes permanecem estocados na serapilheira depende da velocidade de decomposição do material (Cole, 1981, citado por Monteiro, 2001). Coberturas florestais onde esteja presente um misto de espécies conferem à serapilheira uma diversidade de resíduos e esta diversidade pode contribuir no aumento da velocidade de decomposição, permitindo a atuação de diferentes grupos de macro e microrganismos decompositores.

O uso de espécies leguminosas arbóreas se destaca na revegetação de áreas degradadas pela capacidade da maioria delas formar simbiose com bactérias como *Rhizobium*, realizando a fixação biológica de nitrogênio (FBN), proporcionando um aporte de resíduos que favorecem a ação de microrganismos decompositores. Entretanto há grande variação entre os resíduos aportados pelas inúmeras espécies florestais tropicais.

A influência destes fatores na melhoria da fertilidade do solo por meio da decomposição da serapilheira é um processo lento e gradativo, podendo ser necessária a amostragem mais superficial para detecta-la no curto prazo. Não só a serapilheira, mas também a concentração de raízes finas nesta camada, está correlacionada com concentrações mais altas de matéria orgânica e nutrientes, e com as condições físicas favoráveis desta camada (Witschoreck *et al.*, 2003). Testar amostragens em diferentes profundidades podem auxiliar a avaliação desses indicadores.

OBJETIVOS

Avaliar a qualidade de diversas coberturas florestais da Região Norte Fluminense, relacionando o acúmulo de serapilheira, sua composição química e orgânica e a sua influência na melhoria da fertilidade do solo, bem como o efeito de diluição nas amostragens 0-5 e 0-10 cm do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado a partir de amostras de solo e serapilheira coletadas na Fazenda Carrapeta, no Município de Conceição de Macabu, RJ.

Neste local, predomina o relevo forte ondulado, com declividade em torno de 35%. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilo-franco-arenosa. O clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Am, quente e úmido.

Foram avaliadas quatro diferentes áreas degradadas; duas destas revegetadas com espécies de leguminosas arbóreas (uma com a *Acacia auriculiformis*, acácia, e a outra com *Mimosa caesalpiniiifolia*, sabiá); uma pastagem com predomínio do capim sapê, ao lado das áreas revegetadas; e uma área formada por um fragmento florestal da Mata Atlântica em sucessão secundária, capoeira, ao lado da pastagem. As duas últimas áreas citadas são utilizadas como referência.

Em setembro 2003 (plantios com 4 anos e nove meses de idade) foram coletadas em cada cobertura vegetal oito amostras compostas de solo para caracterização química, sendo quatro na profundidade de 0 - 10 cm (obedecendo à amostragem ao acaso de quinze amostras simples por amostra composta), e quatro na profundidade de 0-5 cm (oito amostras simples, ao acaso, por amostra composta). No caso das áreas revegetadas, a coleta foi feita entre linhas de plantio. Para a coleta a 0 - 10 cm, foi utilizado um trado holandês. As amostras de solo, das duas profundidades, foram secas ao ar. Após a secagem, as amostras foram devidamente passadas em peneira de malha 2 mm.

Na área do pasto não ocorre acúmulo de serapilheira. Para as demais áreas, no entanto, a amostragem da serapilheira, para caracterização química e orgânica, foi realizada utilizando-se um gabarito (quadrado de madeira) de 0,25 m². Nas áreas plantadas com acácia, e com sabiá foram coletadas seis amostras simples, enquanto na capoeira foram coletadas quatro amostras simples. As amostras foram coletadas ao acaso e, no caso das áreas revegetadas, entre linhas de plantio. Os componentes da serapilheira foram devidamente separados (folha, galho, estrutura reprodutiva e material fragmentado) e submetidos à secagem em estufa, a 75° C, até peso constante. Para que fosse reduzido o problema de contaminação pelo solo na análise da serapilheira, a separação desses materiais foi feita sendo descartado todo material de solo encontrado. As amostras de serapilheira foram pesadas em balança de precisão de 0,1g e posteriormente moídas para análise.

Nas amostras de solo foram realizadas as determinações de P e K (extraíveis por Mehlich⁻¹), Ca, Mg e Al (trocaíveis, por KCl 1 mol/L), (Defelipo e Ribeiro, 1981), C orgânico

por oxidação com $K_2Cr_2O_7$, 1,25 mol/L em meio ácido (Anderson e Ingram, 1996), N total pelo método Kjeldahl, conforme o método descrito pela EMBRAPA (1997) e pH (em água).

Determinaram-se, nos diferentes componentes da serapilheira, os teores de K (fotometria de chama), de P (colorimetricamente pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo, 1974), de Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica), após digestão nitro-perclórica, e de N pelo método Kjeldahl, descrito por Bataglia *et al.* (1983). O teor de C foi obtido por oxidação com $K_2Cr_2O_7$ (Anderson e Ingram, 1996). Na determinação de lignina e celulose da serapilheira foi empregado o método da fibra em detergente ácido (FDA) de van Soest e Wine (1968) e para polifenóis solúveis totais, o método Folin-Denis, descrito por Anderson e Ingram (1996).

Para a análise estatística dos dados considerou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo aplicado, para a comparação das médias, o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico SAEG (Funarbe, 1993) para o procedimento das análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de serapilheira foi maior no povoamento da acácia (1058,04 g/m²), sendo superior ao acúmulo do sabiá (667,4 g/m²). A quantidade de serapilheira acumulada pela capoeira foi intermediária (729,1 g/m²), não diferindo estatisticamente das demais coberturas (Tabela 1). Esses resultados estão na mesma faixa dos encontrados por Gama-Rodrigues *et al.* (1999), onde trabalhando com seis espécies nativas plantadas em parcelas puras (pau-roxo, putumuju, arapati, arapaçu, claraíba e óleo-comumbá), com 22 anos de idade; em plantio misto (essas seis espécies associadas com outras 57 espécies nativas e exóticas); uma floresta secundária, praticamente em estado clímax; e uma capoeira de 40 anos de idade, encontraram para os ecossistemas heterogêneos valores de fitomassa de serapilheira intermediários, em comparação com os plantios puros.

Provavelmente, este maior acúmulo de serapilheira apresentado pela acácia pode estar relacionado a sua maior capacidade de produzir serapilheira ou que a decomposição e, ou, a renovação desta serapilheira seja mais lenta que as demais coberturas. Isso estaria relacionado à qualidade (orgânica e, ou química) do material produzido, determinando sua menor degradabilidade (Tabelas 2 e 3). Mesma tendência foi encontrada por Andrade *et al.* (2000), trabalhando com povoamentos homogêneos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea*, com aproximadamente quatro anos de idade.

Zaia e Gama-Rodrigues (2004), estudando a ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita*, com 6 anos de idade, na Região Norte Fluminense, encontraram menor acúmulo de serapilheira para *Eucalyptus grandis* e concluíram que este resultado poderia estar relacionado a características do material como baixa relação C/N, menores teores de lignina, polifenóis e celulose, já que não foi encontrada grande diferença nutricional da serapilheira analisada.

Na acácia e na capoeira, a folha foi a estrutura que mais contribuiu para a acúmulo de serapilheira, enquanto, no sabiá, foi o material fragmentado (Tabela 1).

Tabela 1
ACUMULAÇÃO DE MATÉRIA SECA DOS COMPONENTES DA ACÁCIA, SABIÁ E CAPOEIRA, COM 57 MESES DE IDADE, CULTIVADOS EM CONCEIÇÃO DE MACABU, RJ.

Cobertura	Folha	Galho	Estrutura Reprodutiva	Material Fragmentado	Total
	(g/m ²)				
Acácia	579,6 a	15,8 b	226,3	236,3 a	1058,0 a
Sabiá	269,2 b	88,4 a	—	309,8 a	667,4 b
Capoeira	379,2 ab	127,5 a	—	222,4 a	729,1 ab
CV %	30,2	32,9	—	30,07	27,0

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Diversos fatores estão relacionados com a decomposição dos resíduos vegetais adicionados ao solo, tais como características edafoclimáticas, composição química dos resíduos e estratégias de manejo. Sob as mesmas condições de clima e solo, a velocidade de decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes são afetadas por características químicas dos resíduos. Materiais com baixa relação C/N (<25) e reduzidos teores de lignina e polifenóis apresentam mineralização rápida e fornecem grandes quantidades de nutrientes para as culturas subseqüentes. Já os materiais com elevada relação C/N (>25) e altos teores de lignina e polifenóis sofrem decomposição mais lenta, podendo formar uma cobertura morta estável e capaz de proteger o solo contra a erosão (Myers *et al.*, 1994 citado por Ndaw, 2003).

Contudo, os valores isolados de lignina, celulose e polifenóis, normalmente, não são bons indicadores desta decomposição (Gama-Rodrigues *et al.*, 1999), ou seja, podem não explicar a maior ou menor acumulação de serapilheira. Por isso, devem ser feitas relações com o N, por se tratar de um nutriente limitante à atividade microbiana (Tabela 3). Em sistemas cujas relações apresentam valores mais elevados, a decomposição e a liberação de N são mais baixas (Gama-Rodrigues, 2004).

Os resultados da análise química da folha para os teores de C, lignina e polifenóis não apresentaram diferença significativa entre as coberturas vegetais. Para N e P os teores encontrados na acácia foram estatisticamente inferiores em relação às demais coberturas (Tabelas 2 e 3). Para os teores de Mg e celulose, os resultados nas folhas da serapilheira de capoeira foram estatisticamente superiores em relação às outras coberturas estudadas. Nas folhas de capoeira foi observado maior teor de K e menor teor de Ca em relação às demais áreas (Tabelas 2 e 3). Monteiro e Gama-Rodrigues (2004), trabalhando com diferentes

estruturas de serapilheira de uma floresta natural, observaram, para os teores de C e N analisados da folha, valores similares dos encontrados neste estudo. Sob capoeira foi observado o maior teor de K nas folhas, entretanto foi a cobertura que apresentou o menor teor de Ca entre todos os componentes da serapilheira analisados. Na serapilheira de acácia foi observada a maior relação C/N diferindo estatisticamente das demais coberturas.

Tabela 2
CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES NOS COMPONENTES DA SERAPILHEIRA DAS DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS

Cobertura	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N
	(g/kg)						
Folha							
Acácia	360,5a	15,1b	0,19b	0,73 b	22,39a	1,94b	23,87a
Sabáá	362,5a	17,9a	0,43a	0,93ab	17,49a	2,11b	20,25b
Capoeira	350,2a	18,4a	0,41a	1,30a	8,15b	3,35a	19,03b
C.V. %	6,21	5,93	13,26	23,11	25,02	24,79	7,87
Galho							
Acácia	361,9b	12,0a	0,31a	0,93a	25,47a	1,13b	30,16a
Sabáá	386,1a	13,1a	0,33a	0,90a	10,87b	2,01a	29,47a
Capoeira	356,1b	12,9a	0,33a	1,00a	8,86b	2,07a	27,69a
C.V. %	3,38	10,59	18,96	30,26	36,99	28,61	10,39
Estrutura Reprodutiva							
Acácia	378,4	12,5	0,20	1,00	5,23	0,69	30,27
Material Fragmentado							
Acácia	325,8a	16,6a	0,34b	0,80 b	15,93a	1,61b	19,61a
Sabáá	324,6a	18,6a	0,51a	1,03ab	17,45a	2,33b	17,45a
Capoeira	321,3a	19,4a	0,55a	1,10a	10,48a	3,42a	16,56a
C.V. %	8,26	17,74	13,98	16,60	32,11	25,46	19,84

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada componente não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, C.V. Coeficiente de variação

Tabela 3
TEORES DE POLIFENÓIS (POL), LIGNINA (LIG) E CELULOSE (CEL) E SUAS RESPECTIVAS RELAÇÕES COM NITROGÊNIO DA SERAPILHEIRA NAS DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS ESTUDADAS

Cobertura	POL	LIG	CEL	LIG/N	(LIG+CEL)/N	POL/N
	(g/kg)					
Folha						
Acácia	9,60 a	452,70 a	192,70 b	30,00 a	42,74 a	0,64 a
Sabáá	9,60 a	478,00 a	214,70 b	26,70 b	38,70 a	0,54 ab
Capoeira	7,70 a	477,00 a	323,00 a	25,92 b	43,48 a	0,42 b
C.V. %	19,99	6,08	9,75	7,53	7,37	22,42
Galho						
Acácia	6,70 a	324,00 b	386,00 a	27,00 a	59,17 a	0,56 a
Sabáá	6,70 a	414,70 a	334,70 b	31,66 a	57,21 a	0,51 a
Capoeira	4,10 a	361,00 b	374,00 ab	27,98 a	56,98 a	0,32 a
C.V. %	25,86	7,06	6,96	13,85	11,94	25,85
Estrutura Reprodutiva						
Acácia	12,8	328,00	347,30	26,24	54,02	1,02
Material Fragmentado						
Acácia	3,30 a	450,7 b	195,30 a	27,15 a	38,92 a	0,20 a
Sabáá	3,10 a	568,0 a	170,70 a	30,54 a	39,71 a	0,17 a
Capoeira	3,80 a	521,0 ab	218,00 a	26,86 a	38,09 a	0,20 a
C.V. %	25,20	8,07	20,00	16,85	18,47	26,29

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada componente não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, C.V. Coeficiente de Variação

Os resultados da análise química dos galhos da serapilheira para os teores de N, P, K, C/N e polifenóis foram estatisticamente iguais entre as coberturas. Já para os demais componentes, foram encontradas diferenças significativas: maiores teores de C e lignina foram observados sob sabiá e menor teor de Mg sob acácia, onde também foram encontrados os maiores valores de Ca e celulose (Tabelas 2 e 3). A estrutura reprodutiva estava presente na serapilheira apenas sob plantio de acácia na época da amostragem.

Quanto aos resultados do material fragmentado, os teores de C, N, Ca, C/N, celulose e polifenóis foram similares entre as diferentes coberturas. Neste componente, os menores teores de P, K, Mg e lignina foram verificados na acácia (Tabelas 2 e 3). Em geral, o K é o nutriente de mais rápida liberação da serapilheira em todos os ecossistemas (Gama-Rodrigues, 1997). Malavolta (1980) relatou que 80 % do K do tecido seria passível de lavagem, pelo fato de tal elemento encontrar-se quase que totalmente na forma solúvel. Os resultados encontrados por Roselem *et al.* (2003) mostram que essa lavagem depende também de outros fatores, além da chuva. Provavelmente, a maior liberação do K depende também da degradação dos restos vegetais. A degradação biológica deste material implicaria no rompimento das barreiras à difusão do K, facilitando sua liberação. Isto pode ter um importante significado ecológico na reciclagem de nutrientes e na fertilização das camadas superficiais do solo.

Para a relação LIG/N nas folhas, a acácia foi a cobertura que apresentou o maior valor, sendo estatisticamente superior as demais coberturas neste componente analisado. Já para o galho e o material fragmentado, não houve diferença desta relação entre as coberturas analisadas (Tabela 3).

Para a relação $(LIG + CEL)/N$, em todos os componentes analisados não houve diferença estatística entre as coberturas (Tabela 3).

Para a relação POL/N , na folha, a capoeira apresentou o menor valor. Nos componentes galho e material fragmentado, não houve diferença estatística entre as coberturas analisadas (Tabela 3).

Para os atributos analisados, exceto Ca, a acácia foi a cobertura que apresentou os menores teores nutricionais e as maiores de LIG/N e POL/N , mostrando ser um material mais recalcitrante quando comparado com às demais coberturas (Tabelas 2 e 3).

O aporte de nutrientes de cada cobertura é influenciado não apenas pela característica nutricional das frações da serapilheira acumulada, mas principalmente por sua relação com as quantidades produzidas, refletindo na proporção de nutrientes transferida através dessa via.

A folha foi o componente que acumulou a maior quantidade de nutrientes em todas as coberturas analisadas (Tabela 4).

Os resultados da análise química para C e N do solo, sob as diferentes coberturas vegetais, nas duas profundidades, não apresentaram diferença significativa (Tabela 5).

Entretanto, pode-se afirmar que houve um incremento do C orgânico, pois ao analisar as amostras, aos 57 meses de idade, foram encontrados teores médios de 26,7 g/kg, em amostragem realizada de 0-10 cm, enquanto que Paulino (2003) encontrou valores abaixo de 17 g/kg, aos 32 meses de idade na mesma área de plantio, com a mesma amostragem. O autor relacionou este resultado ao fato de que não havia sido formada serapilheira, como reflexo da curta idade dos cultivos. Com a amostragem realizada de 0-5 cm foi encontrada variação na faixa de 29,4 a 32 g/kg e Gama-Rodrigues et al. (1997), avaliando um Latossolo Vermelho Amarelo argiloso sob angico, pinheiro e eucalipto, todos com 25 anos de idade, também não encontraram variação no teor de C orgânico, apesar da quantidade de serapilheira acumulada entre as coberturas ter variado. O incremento do C no solo é reflexo da decomposição da serapilheira, mas também das raízes que contribuem bastante para melhoria da fertilidade, principalmente na camada mais superficial do solo.

A acidez ativa do solo foi considerada elevada em todas as coberturas e profundidades estudadas. O solo sob a capoeira apresentou o valor de pH mais baixo, nas duas profundidades. Também os maiores teores de Al trocável foram encontrados no solo sob a capoeira. Este resultado pode ser decorrente desse baixo pH verificado, resultando na mais elevada acidez potencial (H + Al). Em ambas as amostragens, os teores de alumínio trocável encontrados para acácia, sabiá e pasto não diferiram significativamente entre si.

Tabela 4
CONTEÚDO MÉDIO DE NUTRIENTES NOS COMPONENTES DA SERAPILHEIRA
DAS DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS

Cobertura	C	N	P	K	Ca	Mg
	(kg/ha)					
Folha						
Acácia	2083,82 a	87,83 a	1,09 a	4,24 a	132,91 a	11,14 a
Sabiá	979,33 b	47,91 b	1,17 a	2,56 a	49,45 b	5,76 b
Capoeira	1310,96 b	69,34 ab	1,56 a	4,88 a	29,80 b	12,35 a
Galho						
Acácia	58,37 b	2,01 b	0,05 b	0,17 b	4,41 a	0,20 b
Sabiá	341,59 a	11,55 a	0,29 a	0,79 ab	9,81 a	1,77 ab
Capoeira	448,61 a	16,23 a	0,41 a	1,27 a	11,20 a	2,67 a
Estrutura Reprodutiva						
Acácia	855,88	27,54	0,46	2,20	12,35	1,62
Material Fragmentado						
Acácia	763,82 a	39,47 a	0,82 b	1,89 b	38,98 a	3,93 a
Sabiá	995,08 a	58,07 a	1,60 a	3,22 a	56,60 a	7,10 a
Capoeira	716,80 a	43,65 a	1,23 ab	2,43 ab	23,29 a	7,55 a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada componente não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV probabilidade

Os maiores teores de Ca, Mg e K na amostragem de 0-5 cm foram observados nos solos sob acácia e sabiá, enquanto o solo sob capoeira apresentou os menores valores, com valores médios de 0,73; 0,68 e 0,13 cmolc/dm³, respectivamente. Não houve diferença entre os teores de K observados para acácia, sabiá e pasto nas duas profundidades; entretanto, o K nessas coberturas foi superior à capoeira. Na amostragem de 0-5 cm, o solo sob acácia apresentou maior teor de P, diferindo significativamente das demais coberturas. Este resultado pode ser explicado pela mineralização deste nutriente da serapilheira de acácia. Os teores de P na amostragem de 0-10 cm não apresentaram diferença entre as coberturas vegetais estudadas e foram inferiores aos observados na amostragem de 0-5 cm, o que pode ser explicado pelo fato deste elemento apresentar baixa mobilidade no perfil do solo (Tabela 5), indicando um efeito de diluição em amostragem mais profunda.

Tabela 5

VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS

Cobertura	Profundidade (cm)	C		pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al
		g/kg								
				(mg/dm ³)		(cmolc / dm ³)				
Acácia	0 - 5	31,9a	1,50a	5,09a	5,26a	136,00a	2,37a	1,20ab	0,18b	3,96b
Sabiá	0 - 5	30,9a	1,30a	4,91a	4,42b	133,00a	2,00ab	1,26a	0,40b	5,78ab
Pasto	0 - 5	29,4a	1,20a	4,85a	3,88b	105,00a	1,47bc	0,82bc	0,43b	5,65ab
Capoeira	0 - 5	31,2a	1,60a	4,24b	4,05b	50,75b	0,73c	0,68c	0,96a	6,35a
CV %	0 - 5	8,05	28,05	3,69	8,24	19,49	24,16	18,59	28,79	18,61
Acácia	0 - 10	26,9a	1,50a	5,01a	3,40a	103,00a	1,79a	0,91a	0,38b	4,74c
Sabiá	0 - 10	26,3a	1,60a	4,74a	3,29a	102,75a	1,31ab	0,96a	0,63b	5,62b
Pasto	0 - 10	26,8a	1,30a	4,75a	3,13a	108,00a	1,42a	0,80ab	0,60b	5,68b
Capoeira	0 - 10	29,6a	1,60a	4,12b	3,72a	47,25b	0,56b	0,49b	1,40a	7,22a
CV %	0 - 10	7,09	21,33	3,47	14,33	12,26	30,39	19,95	39,97	6,18

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV: Coeficiente de variação

Portanto, ao comparar as características químicas do solo sob as coberturas florestais plantadas com a capoeira e o pasto, verificou-se que houve alterações significativas na fertilidade, detectada principalmente na amostragem mais superficial (0-5 cm), apresentando maior sensibilidade para Ca e Mg e menor para acidez potencial, sendo o consórcio com essas espécies uma alternativa para minimizar os custos com fertilizantes químicos.

Sugere-se a análise tanto do solo, quanto da serapilheira em diferentes estações do ano e em diferentes profundidades de solo, pois, desta forma, seria possível obter informações a respeito de quais fatores climáticos desta região seriam mais limitantes para acumulação e decomposição da serapilheira, bem como sua contribuição para melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo.

A amostragem de 0-5 cm mostrou-se mais sensível na detecção de diferenças de alguns indicadores entre as coberturas analisadas, isto pode ser verificado ao observar os conteúdos de P, Ca e Mg acumulados (Tabela 6).

Tabela 6
CONTEÚDO DE NUTRIENTES NO SOLO EM DUAS AMOSTRAGENS, SOB DIFERENTES
COBERTURAS VEGETAIS

Cobertura	Profundidade (cm)	C	N	P	K	Ca	Mg
		(kg/ha)					
Acácia	0 - 5	7,97 a	750,00 a	2,63 a	68,00 a	236,44 a	72,88 ab
Sabiá	0 - 5	7,73 a	650,00 a	2,21 b	66,50 a	199,65 ab	76,33 a
Pasto	0 - 5	7,35 a	612,50 a	1,94 b	52,50 a	146,60 bc	49,83 bc
Capoeira	0 - 5	6,88 a	787,50 a	2,03 b	25,38 b	73,15 c	41,21 c
Acácia	0 - 10	13,46 a	1500,00 a	3,40 a	103,00 a	358,02 a	110,63 a
Sabiá	0 - 10	13,15 a	1575,00 a	3,29 a	102,75 a	261,35 ab	116,80 a
Pasto	0 - 10	13,40 a	1266,67 a	3,13 a	108,00 a	309,89 a	97,39 ab
Capoeira	0 - 10	14,91 a	1600,00 a	3,72 a	47,25 b	109,28 b	58,94 b

Medias seguidas de pelo uma mesma letra em cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Profundidade 1: 0-5cm e Profundidade 2: 0-10cm;

Os resultados aqui apresentados ressaltam a importância da profundidade de amostragem, mostrando que a amostragem da camada mais superficial do solo é mais recomendada para verificação da contribuição da decomposição da serapilheira e de outros materiais, como as raízes e componentes da microfauna, no incremento de nutrientes no solo (Tabela 6).

CONCLUSÕES

O uso de leguminosas arbóreas apresenta um grande potencial na recuperação de áreas degradadas;

O plantio florestal, através da acumulação de serapilheira, altera positivamente a fertilidade do solo;

O acúmulo de serapilheira, em parte, está relacionado com a qualidade do seu material formador;

A amostragem de 0-5 cm de profundidade é mais representativa que de 0-10 cm para detectar diferenças de P, Ca e Mg no solo, resultantes do efeito de diferentes coberturas florestais.

REFERÊNCIAS

- Anderson, J. N.; Ingram, J. S. I., 1996.** Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. 1.ed. Wallingford, Cab International, UK, 171 p.
- Andrade, A. G.; Costa, G. S. e Faria, S. M., 2000.** Deposição e Decomposição da Serapilheira em Povoamentos de *Mimosa caesalpinhiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. R Bras. Ci. Solo, (24): 777-785.
- Bataglia, O. C., Furlani, A. M. C., Teixeira, J. P. F., Furlani, P. R. e Gallo, J. R., 1983.** Métodos de Análise Química de Plantas. Instituto Agronômico, Campinas, 48p. (Boletim Técnico, 78).
- Braga, J.M. e Defelipo, B. V., 1974.** Determinação Espectrofotométrica de Fósforo em Extrato de Solo e Material Vegetal. R. Ceres, Viçosa, (21): 73-85.
- Defelipo, B. V. e Ribeiro, A. C., 1981.** Análise Química do Solo. Viçosa, UFV, 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997.** Manual de Métodos de Análise de Solos. 2.ed. ver. atual. Rio de Janeiro, snlcs.
- Ferreira, C. A. e Galvão, A. P. M., 2000.** Importância da Atividade Florestal no Brasil. in: Galvão, A. P. M. (ed.) Reflorestamento de Propriedades Rurais para Fins Produtivos e Ambientais: Um Guia para Ações Municipais e Regionais. EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília; EMBRAPA Florestas, Colombo, PR. pp. 15-18.
- Figueiredo Ffilho, A., 2003.** Etacional da Deposição de Serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista Localizada no Sul do Estado do Paraná. Ciência Florestal, Santa Maria, (13): 11-18.
- FUNARBE. SAEG, 1993.** Sistema para Análise Estatística, v. 5.0, Viçosa, MG.
- Gama-Rodrigues, A. C., 1997.** Ciclagem de Nutrientes por Espécies Florestais em Povoamentos Puros e Mistos, em Solos de Tabuleiro da Bahia, Brasil. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 107 p.
- Gama-Rodrigues, A. C., 2004.** Ciclagem de Nutrientes em Sistemas Agroflorestais na Região Tropical: Funcionalidade e Sustentabilidade. in: Muller, M. W., Gama-Rodrigues, A. C., Brandão, I. C. S. F. I. e Seródio, M. H. de C. F. (eds.) Sistemas Agroflorestais, Tendência da Agricultura Ecológica nos Trópicos: Sustento da Vida e Sustento de Vida, Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais: Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira, Ilhéus, BA; Campos dos Goytacazes, RJ. pp. 67-87.
- Gama-Rodrigues, A. C.; Barros, N. F. e Mendonça, E. S., 1999.** Alterações Edáficas sob Plantios Puros e Mistos de Espécies Florestais Nativas do Sudeste da Bahia, Brasil. R. Bras. Ci. Solo, (23): 581-592.
- Gama-Rodrigues, E. F. da, Gama-Rodrigues, A. C. da, Barros, N. F., 1997.** Biomassa Microbiana de Carbono e de Nitrogênio de Solos sob Diferentes Coberturas Florestais. R. Bras. Ci. Solo, (21): 361-365.
- Malavolta, E. A., 1980.** Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo, CERES. 251p.
- Monteiro, M. T., 2001.** Carbono, Nitrogênio e Atividade da Biomassa Microbiana: Indicadores da Qualidade do Solo e da Serapilheira em Sítios Florestais do Norte Fluminense. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 77 p.

Monteiro, M. T. e Gama-Rodrigues, E. F., 2004. Carbono, Nitrogênio e Atividade da Biomassa Microbiana em Diferentes Estruturas de Serapilheira de uma Floresta Natural. R. Bras. Ci. Solo, (28): 819-826.

Ndaw, S. M., 2003. Diversidade, Biomassa e Atividade Microbiana como Indicadores de Qualidade do Solo e da Serapilheira em Sítios sob Diferentes Coberturas Vegetais na Região Norte Fluminense. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 98 p.

Paulino, G. M., 2003. Cobertura Florestal e Qualidade de Solo em Terras Degradadas no Norte Fluminense. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 67p.

Rosolem, C. A., Calonego, J. C. e Foloni, J. S. S., 2003. Lixiviação de Potássio da Palha de Espécies de Cobertura de Solo de Acordo com a Quantidade de Chuva Aplicada. R. Bras. Ci. Solo, (27): 355-362.

van Soest, P. e Wine, R. H., 1968. Development of a Comprehensive System of Feed Analysis and its Applications to Forages. J. Assoc. Official Agr. Chem., Madison, (51): 780-785.

Witschoreck, R., Schumacher, M. V., Caldeira, M. V. W., 2003. Estimativa da Biomassa e do Comprimento de Raízes Finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no Município de Santa Maria - RS. Revista Arvore, 27 (2): 177 - 183.

Zaia, F. C. e Gama-Rodrigues, A. C., 2004. Ciclagem de Nutrientes em Povoamentos de Eucalipto na Região Norte Fluminense. R. Bras. Ci. Solo, (28): 843-852.

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. 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 tres 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 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 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 sólo 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 sólo 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, espacio simple y un espacio libre entre párrafos. Letra Arial 10. Un tab (8 espacios) al inicio de cada párrafo. No numerar páginas. Extensión máxima trabajos 25 carillas para artículos y 15 para Apuntes. Justificación ambos lados.

Primera página incluye título en mayúsculas, negrita, centrado, letra Arial 12, 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 12 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. Sólo para Introducción usar página nueva, resto puntos principales seguidos, separando con un espacio antes y 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 guión 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 referencia citadas en texto y sólo 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. Sólo se aceptan 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 impresión.

Abreviaturas, magnitudes y unidades deben estar atentas 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 las 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** y no M. m. MT MTS mt mts o mtrs y otras formas como a menudo se ve en las carreteras y otros lugares; metro cúbico **m³**, metro ruma **mr**; o hectáreas **ha** y no HTA HAS há o hás.

Llamados a pie de página: Cuando estos son necesarios, serán numerados en forma correlativa para cada página, no de 1 a n a lo largo del trabajo. Aparecerán 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 los miembros de este 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

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).

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.

Respecto del peso de los archivos, tener presente que 1 Mb es normalmente el 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, el trabajo es aceptado como fue propuesto (Artículo o Apunte) y no hay observaciones de fondo, el trabajo es 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 INVESTIGACION FORESTAL

ARTICULOS	PAGINA
EL GÉNERO <i>ACACIA</i> , ESPECIES MULTIPROPÓSITO. Santiago Barros. Chile.	5
PROCESOS INDUSTRIALES Y APLICACIONES DE <i>ACACIA</i> EN CHILE. Rodrigo Briones y Juan Carlos Pinilla. Chile.	31
RESEÑA Y FUTURO DEL SECTOR FORESTAL REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE. Juan Cerda. Chile.	47
EFFECT OF <i>ACACIA MELANOXYLON</i> WOOD DENSITY ON PAPERMAKING POTENTIAL. Carla Delgado, Antonio Santos, Rogerio Simoes and Ofelia Anjos. Portugal.	59
EFFECTS OF <i>ACACIA</i> PLANTATION ON TREE SPECIES COMPOSITION, SOIL PROPERTIES, MINERALIZATION AND MICROCLIMATE IN GRASSLAND OF MT. MAKILING, PHILIPPINES. Yong Kwon Lee, Don Koo Lee, Su Young Woo and Pil Sun Park. Korea.	71
IMPROVED PROSPECTS FOR THE DOMESTICATION OF <i>ACACIA SALIGNA</i> IN REGION DE COQUIMBO, CHILE. Maurice W. McDonald, Richard Mazanec, John R. Bartle and Bruce R. Maslin. Australia.	91
TROPICAL <i>ACACIAS</i> : THEIR DOMESTICATION AND CONTRIBUTION TO ASIA'S WOOD AND PULP INDUSTRIES. Stephen Midgley. Australia.	103
AVANCES EN LA ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA ESPECIES DEL GENERO <i>ACACIA</i> EN LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE. María Paz Molina y Juan Carlos Pinilla S. Chile.	121
ESTIMACIÓN DE COMPONENTES DE VARIANZA Y PREDICCIÓN DE VALORES GENÉTICOS EN POBLACIONES DE <i>ACACIA</i> AZUL USANDO EL ALGORITMO DE CADENAS INDEPENDIENTES. Freddy Mora, Sandra Perret, Carlos Alberto Scapim, Elias Martins y María Paz Molina. Chile.	133
MICROPROPAGACIÓN DE ÁRBOLES SUPERIORES DE <i>ACACIA MELANOXYLON</i> R. BR. Oriana Ortiz, María Elisa González y Laura Koch. Chile.	143
OPCIONES PRODUCTIVAS CON <i>ACACIAS</i> PARA CHILE. Juan Carlos Pinilla S., María Paz Molina B. y Braulio Gutiérrez C. Chile.	155
PLANTACIONES DE <i>ACACIA</i> UNA OPCIÓN DE GESTIÓN FORESTAL PARA PROPIETARIOS FORESTALES. Juan Carlos Pinilla S., María Paz Molina B. y Marta González. Chile.	173
ESPECIES FORESTALES CON DIVERSIDAD DE USOS EN UN BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO DE LA COMUNIDAD INDÍGENA DE TOMATLAN, JALISCO, MÉXICO. María Leonor Román Miranda, Antonio Mora Santacruz, Servando Carvajal Hernández y Héctor Ochoa Ruiz. México.	183
ACÚMULO E CARACTERIZAÇÃO DA SERAPILHEIRA E FERTILIDADE DO SOLO EM COBERTURAS FLORESTAIS NO NORTE FLUMINENSE. Miriam Peixoto Soares da Silva, Antonio Carlos da Gama-Rodrigues e Deborah Guerra Barroso. Brasil.	193
REGLAMENTO DE PUBLICACION	207



GOBIERNO DE CHILE
Ministerio de Agricultura