

Volumen 16 N° 1
Abril 2010

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

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL



INSTITUTO FORESTAL
CHILE



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

VOLUMEN 16 N° 1

**CIENCIA E
INVESTIGACIÓN
FORESTAL**

ABRIL 2010

RELACIONES INTERNACIONALES Y COMUNICACIONES INFOR

**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**

CIENCIA E INVESTIGACIÓN 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 Ábalos Romero	INFOR	Chile
Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR – IUFRO	Chile
Consejo Editor	Sandra Perret Durán	INFOR La Serena	Chile
	Braulio Gutiérrez Caro	INFOR Concepción	Chile
	Jorge Cabrera Perramón	INFOR Valdivia	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	UC	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
 Sucre 2397 - Casilla 3085 - Santiago, Chile
 Fono 56 2 3667100 Fax 56 2 2747264
 Correo electrónico sbarros@infor.gob.cl

Valor suscripción anual (tres números y eventualmente uno extraordinario): ch \$ 15.000 y 10.000 para estudiantes. Para el extranjero US \$ 30, más costo envío. Valor números individuales ch \$ 5.000 y US \$ 10.

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.

DURÔMETRO PORTÁTIL PARA MADEIRAS

Adriano Wagner Ballarin¹, Roberto Antonio Colenci² e Hernando Alfonso Lara Palma³

RESUMO

A dureza para madeiras é normalmente avaliada pelo método Janka, no qual uma esfera de seção diametral de 1 cm² é forçada contra a superfície da madeira, até a penetração equivalente a um raio. A dureza é convencionalmente definida pela tensão na superfície da madeira que promoveu essa penetração. Esse método apresenta alguns inconvenientes para avaliação nas condições de campo, sobretudo pela magnitude dos esforços envolvidos (de 7 a 12 kN) e pela dificuldade de controle da profundidade de penetração da esfera.

Neste trabalho relata-se o desenvolvimento de um durômetro portátil para madeiras embasado, no geral, na metodologia Brinell, com mensuração dos diâmetros da calota endentada no material sob análise, após sofrer impacto de uma massa em queda livre. O trabalho reporta os ensaios de calibração inicial do equipamento, que foram conduzidos utilizando-se 16 lotes de madeiras de reflorestamentos e nativas, variando-se, além das espécies, as procedências. Os ensaios foram conduzidos com as madeiras na umidade de recebimento e consistiram de testes laboratoriais de dureza Janka (seguindo-se metodologias de normas técnicas da ABNT) e testes com uso do equipamento desenvolvido.

A análise dos resultados foi encaminhada com o estabelecimento de correlações de regressão entre a dureza avaliada pelo equipamento e a dureza Janka. Para a energia de endentação de 200 kgf.mm, o equipamento revelou boa correlação com os resultados de dureza Janka, o que o abonam como instrumento para avaliação em campo da dureza de madeiras.

Palavras-chave: Equipamento portátil, Dureza Brinell, Dureza Janka, Calibração

1- Associate Professor - Universidade Estadual Paulista – UNESP - Dep. Engenharia Rural / Fazenda Lageado, P.O. Box 237 / 18603-970 – Botucatu-SP-Brazil E-mail: awballarin@fca.unesp.br

2- Professor – Faculdade de Tecnologia de Botucatu–S.P-Brazil E-mail: colenci@uol.com.br

3 -Assistant Professor - Universidade Estadual Paulista – UNESP - Dep. Recursos Naturais / Fazenda Lageado, P.O. Box 237 / 18603-970 – Botucatu-SP- Brazil E-mail: laraalma@fca.unesp.br

PORTABLE DYNAMIC WOOD HARDNESS TESTER

SUMMARY

Hardness is evaluated for wood using Janka Hardness method, in which a metal sphere (diametrical area equal to 1cm^2) is forced against wooden specimen reaching a penetration equivalent to one radius. Hardness strength is conventionally defined by the stress on specimen surface that promoted this penetration. This method presents several inconvenience to in-field evaluation, related to the magnitude of involved loads (from 7 to 12 kN) and to the control of depth penetration.

This paper presents the development of a portable hardness tester for wood, based on Brinell hardness method, measuring diameters of indented spherical calotte, after an impact (falling mass). This paper still reports calibration tests using 16 parcel of forest and native wood, varying its species and procedance. Tests were performed with timber on its moisture above the FSP (fiber saturation point) and consisted of reference laboratory tests (mainly Janka hardness following ABNT Brazilian codes) and tests using the developed hardness tester.

The result analysis was carried out with the regression correlations between the hardness evaluated by the equipment and other properties of interest for timber. The results revealed the great functionality, usefulness and low cost of the equipment, when compared to the commercially available alternatives. For energy indentation of 200 kgf.mm, good linear correlation with Janka hardness, that approves it as portable tester for in-field evaluation of wood hardness .

Keywords: Portable tool, Brinell hardness, Janka hardness, Calibration

INTRODUÇÃO

A grande maioria das Companhias de Estradas de Ferro brasileiras utiliza em larga escala dormentes de madeira e a malha ferroviária brasileira, com cerca de 30.000 quilômetros de extensão emprega dormentes de madeira em mais de 80% de sua via permanente.

Na fase de implantação dessas ferrovias havia grande disponibilidade de madeiras nativas de uso consagrado para esse fim. Com a drástica alteração dessa realidade, essas madeiras atingiram preços proibitivos, exigindo novas alternativas. Assim, os programas de reposição de dormentes nas vias permanentes têm envolvido altas cifras, o que exige soluções imediatas para redução de custo. Conta-se com o fato adicional de que a maioria das empresas ferroviárias brasileiras enfrenta uma situação muito difícil, com déficits acumulados que se agigantam ano a ano. A alternativa, a curto e médio prazos, tem sido a viabilização do uso de madeiras de reflorestamento para a confecção de dormentes, aos moldes da sistemática já adotada em outros países.

O código normativo que especificava e balizava essa aplicação da madeira - NBR 7511 - Dormentes de madeira (ABNT, 1982) - encontra-se desatualizado e incompleto para dar suporte técnico a essa nova realidade. Na maioria dos processos para especificação de dormentes, os aspectos técnicos envolvidos têm sido ditados por documentos internos das próprias empresas ferroviárias, mais abrangentes, completos e atuais, em substituição a NBR 7511. A necessidade da completa revisão e ampliação do atual código normativo já foi evidenciada em trabalho de Ballarin (1996).

A Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu, São Paulo-Brasil, através do CEVEMAD – Centro Virtual de Pesquisas em Madeiras, vem trabalhando desde 1992 com a análise teórica e experimental de dormentes prismáticos de madeira de reflorestamento. A busca atual é por uma técnica, aplicável em condições de campo, que possa auxiliar na decisão pela aceitação ou rejeição de dormentes de um lote amostrado, considerando-se seu potencial de desempenho mecânico como parâmetro balizador da decisão.

Neste trabalho, parte do estudo mais amplo descrito, relata-se o desenvolvimento e calibração de um equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras utilizadas na produção de dormentes ferroviários.

ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA

As ferrovias brasileiras vêm enfrentando várias dificuldades no tocante à substituição dos dormentes em suas vias permanentes, uma vez que a necessidade de manutenção é cada vez mais imediata, por conta do atual estado de deterioração em que se encontram.

Na escolha da espécie mais apropriada para esse fim têm-se usado critérios baseados, muitas vezes, apenas na experiência das empresas ferroviárias, ocasionando aquisições indevidas. Adicionalmente, a pressão legal pela restrição na extração de madeiras provenientes de diversas espécies nativas tem feito com que as empresas busquem, em proporções crescentes, madeiras de reflorestamento para confecção dos novos dormentes.

Ballarin (1996) citou, a exemplo de outros autores (como Niederauer, 1982; Tuset & Taibo, 1987; Sales & Lahr, 1991; Nogueira & Lahr, 1992; Ballarin, Franco & Yojo, 1998; Ballarin, 1999) que a madeira do gênero eucalipto é, dentre as provenientes do reflorestamento, a mais indicada para uso na produção de dormentes para ferrovias. De fato, neste sentido, várias são as constatações científicas e práticas, estas últimas levadas a cabo notadamente por empresas ferroviárias.

Assim, utilizada com diferentes formatos, a madeira de eucalipto pode ser vista, em muitos casos, como uma “tábua de salvação” na luta contra o grave problema ferroviário de abastecimento de dormentes para as vias permanentes.

Por outro lado, a grande semelhança anatômica entre algumas espécies do gênero *Eucalyptus* dificulta o processo de aceitação ou rejeição dos dormentes já serrados. Nota-se, portanto, a necessidade urgente de definição de ensaios rápidos, eficientes e aplicáveis nas condições de campo, para auxiliar no processo de aceitação e rejeição desses elementos.

Os ensaios de dureza paralela e normal às fibras têm sido utilizados como ferramenta para classificação inicial de peças de madeira, sobretudo pela sua praticidade (Colenci, Ballarin & Rocha, 2002). Embora de efeito localizado, na medida em que seus resultados são atribuíveis somente a uma pequena região da peça - nas circunvizinhanças do ponto de endentação da esfera – seus resultados apresentam boa correlação com a resistência à compressão paralela às fibras da madeira, parâmetro utilizado na atribuição de classes de resistência ao material.

Colenci (2002), trabalhando com madeiras das famílias *Lauraceae*, *Vochysiaceae* e da espécie *Eucalyptus citriodora*, estudou a correlação entre a dureza e a resistência à compressão paralela às fibras da madeira. Do estudo, obteve correlações com coeficientes de determinação de 0,80 e 0,82. A Figura N° 1 apresenta as correlações entre a dureza paralela e a resistência à compressão paralela às fibras. O teor de umidade dos corpos-de-prova, no momento dos ensaios, variou de 15% a 25%.

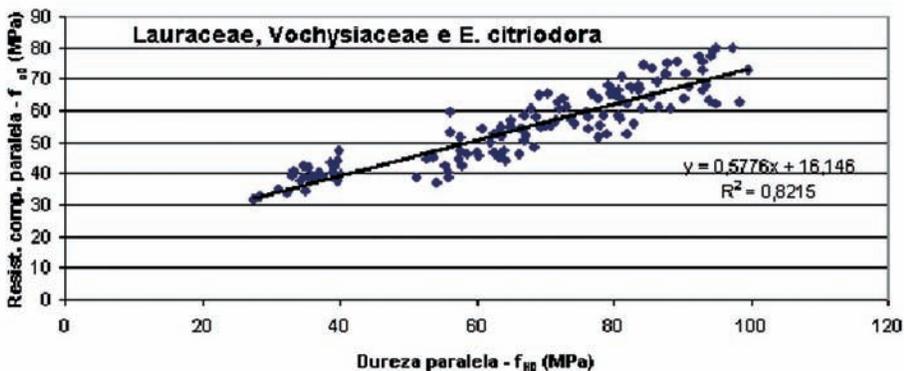


Figura N° 1
CORRELAÇÃO ENTRE A DUREZA PARALELA ÀS FIBRAS E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS – VALORES PARA UMIDADES VARIÁVEIS NOS LOTES

Dentre os métodos empregados para a avaliação da dureza nos diferentes materiais, o método Janka é, sem dúvidas, o mais adequado à madeira. Em trabalho recente, Bektas *et al.* (2001) estudaram a utilização da dureza Brinell - indicada em princípio para o aço e de uso pouco tradicional na tecnologia da madeira - como ferramenta para avaliação da qualidade desse material. A existência de correlações estatisticamente significativas entre a dureza Brinell e a dureza Janka, confirmadas por Colenci (2006) abonaria a prática de utilização dessa dureza para ensaios em madeiras.

Essa opção se justificaria, ainda, pela menor magnitude das forças envolvidas no ensaio Brinell (em relação ao ensaio de dureza Janka) e pela dificuldade de se controlar, em condições de campo, a profundidade de penetração da esfera, exigida no ensaio de dureza Janka.

Considerando-se os altos preços dos equipamentos portáteis de dureza Brinell, evidencia-se a importância e oportunidade do desenvolvimento de um equipamento para a avaliação em campo da dureza de madeiras, com base no método Brinell, com baixo custo e facilidade de utilização.

MATERIAL E MÉTODOS

A escolha inicialmente feita foi a de desenvolvimento de um equipamento semelhante ao utilizado para avaliação da dureza Brinell (com carga de endentação fixa e avaliação posterior da superfície endentada) tendo-se em conta que a dureza Brinell mobiliza forças de menor magnitude (em comparação com aquelas requeridas na metodologia Janka para madeiras) e a dificuldade de se controlar, em condições de campo, a profundidade de penetração da esfera exigida no ensaio de dureza Janka.

Considerando-se os mecanismos - passíveis de utilização em condições de campo - para mobilizar a força necessária à endentação superficial de esfera de aço no material em estudo, optou-se por utilizar o mecanismo de endentação por queda livre de massa (com energias de endentação variáveis), em detrimento da cravação com uso de atuador hidráulico e endentação por mobilização de força de uma mola comprimida. A escolha recaiu na opção que resultava em equipamento mais leve (sem necessidade de pesados reservatórios para óleo dos sistemas hidráulicos), mobilizando força constante ao longo do tempo, o que não ocorre, na maioria das vezes, com sistemas que utilizam mola.

Considerando-se os resultados de Dal Pogetto (2005), no tocante à igualdade estatística das durezas Janka paralela (fH0) e normal às fibras (fH90), e considerando-se a maior facilidade de mensuração da dureza normal às fibras em condições de campo, optou-se por mensurar somente essa variável.

Os ensaios de dureza com o durômetro portátil foram realizados em quatro situações distintas apresentando variação da energia de endentação ou da massa em queda livre, tendo os seguintes parâmetros:

Situação 1 – Queda livre de uma massa de 1kg, à altura de 100mm
(Energia 100 kgf.mm)

Situação 2 - Queda livre de uma massa de 1kg, à altura de 200mm
(Energia 200 kgf.mm)

Situação 3 - Queda livre de uma massa de 2kg, à altura de 100mm
(Energia 200 kgf.mm)

Situação 4 - Queda livre de uma massa de 2kg, à altura de 200mm
(Energia 400 kgf.mm)

O valor da dureza assim avaliada foi estimado com base na equação:

$$E = \frac{2 \text{ Energia}}{\rho D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad \text{onde:} \quad (1)$$

Energia: Energia disponibilizada na queda livre da massa (em kgf.mm)

D: Diâmetro do indentador metálico (fixado em 10mm)

d: Diâmetro da calota endentada na madeira (em mm)

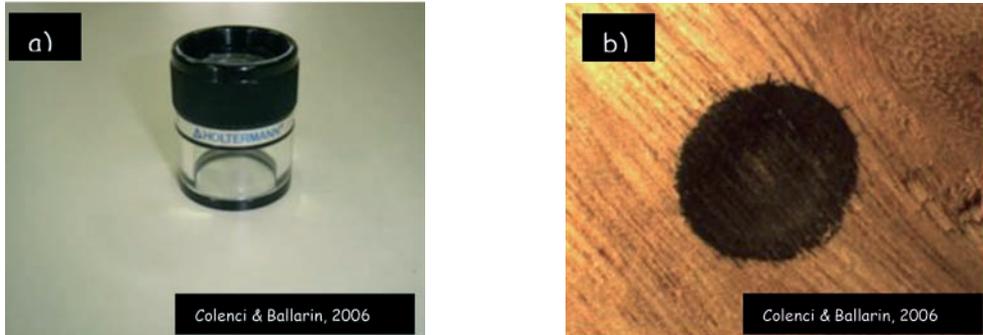
As Figuras N° 2 e N° 3 ilustram detalhes do equipamento, seus acessórios e forma de operação.



a) Aspectos gerais do equipamento

b) Forma de utilização na madeira para avaliação da sua dureza.

Figura N° 2 DURÔMETRO PORTÁTIL PARA MADEIRAS



a) Lupa graduada marca Holtermann modelo LH 20/10X b) Calota esférica obtida.

Figura N° 3 ENDENTAÇÃO NO ENSAIO DE DUREZA BRINELL

Para a calibração do equipamento buscou-se a utilização de madeiras de diferentes procedências, reunidas em lotes, cada um deles potencializando algumas características (idade do plantio, espécie botânica, tipo de lenho, entre outras) de interesse ao estudo. A Tabela 1 apresenta os dados principais dos lotes de madeiras amostrados.

Cada lote foi formado por 12 vigas prismáticas de $(6 \times 12 \times 120) \text{cm}^3$, aqui consideradas como repetições do lote, que foram doadas por empresas, já nesse formato e dimensões. Na maioria das vezes (exceção se faz ao lote 1, no qual a madeira já estava previamente desdobrada em vigas), da madeira em toras disponibilizada nas empresas doadoras, sob acompanhamento da equipe de pesquisa, nas próprias empresas eram desdobradas as 12 vigas, contemplando-se a maior variação possível nas toras utilizadas, mas resguardando-se que elas (toras) pertencessem a uma mesma “partida”.

De cada viga foi produzido um caibro com dimensões aproximadas de $(6 \times 6 \times 120) \text{cm}^3$, retirado da região da viga que apresentava maior homogeneidade do material e, por conveniência, menor incidência de defeitos.

Cada caibro era desdobrado ao meio em seu comprimento, resultando dois caibros com cerca de 50cm, que se constituíram, por fim, no material para os testes de calibração do equipamento.

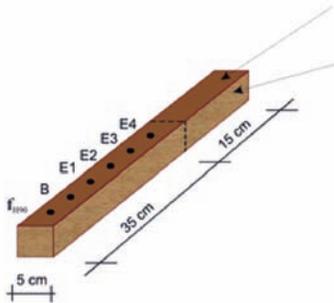
Tabela N° 1
DADOS PRINCIPAIS DOS LOTES DE MADEIRA EMPREGADOS

Lote	Madeira	Procedência	Características do lote
1	Goupia glabra (Cupiúba)	Murba Madeiras Botucatu-SP	Lote amostrando espécie nativa de uso corrente na confecção de estruturas de madeira
2	E.citriodora	Madeireira São Caetano	Lote amostrando madeira de espécie de reflorestamento de uso potencial como dormente. Madeira com idade superior a 40 anos
3	E.citriodora	Itatinga - SP	
4	E. saligna	PREMA Madeira tratadas Rio Claro - SP	Lotes amostrando madeiras de espécies de reflorestamento com uso na produção de dormentes. Madeira amostrada da serraria de empresa fornecedora de dormentes para as concessionárias das ferrovias brasileiras
5	E. citriodora		
6	E. grandis		
7	E. tereticornis		
8	E. urophylla		
9	E. citriodora	Moretto Madeira de Eucalipto Botucatu - SP	Lotes amostrando madeiras com lenho com predominância de alborno
10	E. citriodora		Lotes amostrando madeiras com lenho com predominância de alborno
11	E. citriodora		
12	E. citriodora		
13	Bagassa guianenses (Tatajuba)	MOHR Madeiras São Paulo - SP	Lote amostrando espécie nativa de elevada densidade, com uso potencial na produção de dormentes
14	E.grandis	Duratex S/A Botucatu - SP	Lotes amostrando madeiras de reflorestamento com grande predominância de alborno. Madeira com idade de 6 anos.
15	E.grandis	Duratex S/A Botucatu - SP	Lotes amostrando madeiras de reflorestamento com grande predominância de alborno. Madeira com idade de 6 anos.
16	E.grandis	Duratex S/A Botucatu - SP	Lotes amostrando madeiras de reflorestamento com grande predominância de alborno. Madeira com idade de 6 anos.

Assim, para cada lote de madeira, foram produzidos corpos-de-prova para ensaios de calibração (com 12 repetições cada).

Em cada lote (Tabela N° 1), os 12 caibros de 50 cm de comprimento, na umidade de recebimento da madeira, tiveram suas dimensões nominais finais ajustadas para (5x5x50)cm³ e nele foram feitos os ensaios de calibração do equipamento.

A Figura N° 4 apresenta as regiões dos caibros onde foram realizados os ensaios mecânicos nos corpos-de-prova de 50 x 5 x 5 cm.



- f_{H90} – ensaio de dureza Janka normal às fibras
- HB – ensaio de dureza Brinell
- E1 a E4 – ensaios de dureza com durômetro portátil

Figura N° 4
REGIÕES DOS CAIBROS ONDE FORAM REALIZADOS OS ENSAIOS MECÂNICOS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura N° 5 estão registradas as correlações entre as durezas E1 a E3 (obtidas respectivamente nas situações 1 a 3 já descritas) e a dureza Janka, referência principal nos estudos aqui conduzidos. A regressão da dureza E4 com dureza Janka não teve a normalidade dos resíduos confirmada pelo teste estatístico de Shapiro.

Observa-se que todas as relações resultaram com coeficiente de determinação superior a 0,77, que pode ser considerado bom. Coube novamente destaque à dureza E3, na medida em que a relação dela com a dureza Janka foi a melhor dentre as estudadas.

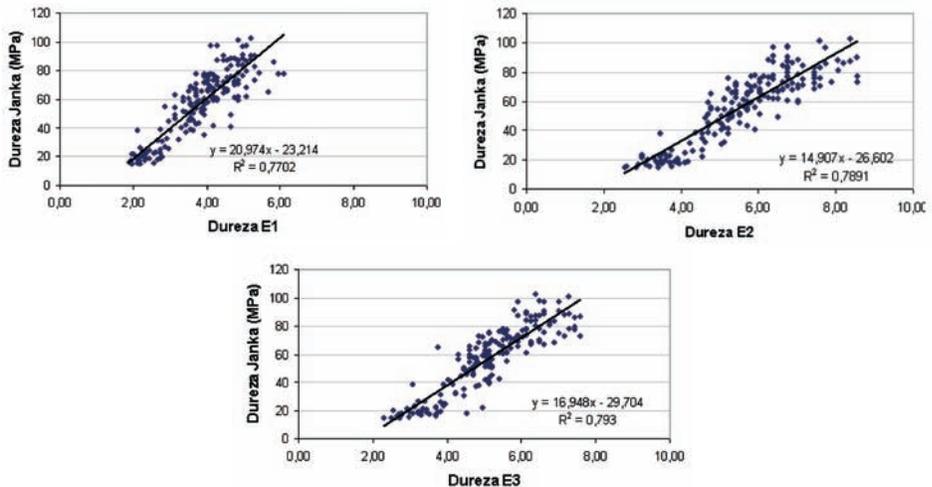


Figura N° 5
REGRESSÃO LINEAR ENTRE OS VALORES DA DUREZA E1, E2 E E3 E A DUREZA JANKA OBTIDA A PARTIR DOS RESULTADOS MENSURADOS NOS LOTES.

Dessa forma, pelos resultados obtidos e considerando-se que as relações de regressão resultaram com coeficientes de determinação superiores a 70%, assumidos normalmente como referencial mínimo para as pesquisas na área de Ciência e Tecnologia da Madeira pelo grupo do Laboratório de Ensaio de Materiais – FCA/UNESP pode-se concluir pela pertinência do uso do durômetro portátil para madeiras para inferir a dureza Janka.

A partir da equação de regressão da dureza E2 com dureza Janka (Figura 5), pode-se obter os valores de durezas E2 que corresponderiam às durezas Janka de 50 MPa, 40 MPa e 30 MPa, tidas como uma das exigências para classificação das madeiras para dormentes (1ª classe, 2ª classe e 3ª classe). Assim, para a análise da dureza E2 correspondente a uma dureza Janka de 50 MPa, a equação de regressão forneceu o valor de E2 igual a 5,139 kgf/mm. Analogamente, para os valores de dureza Janka de 40 MPa e 30 MPa, obtiveram-se valores de dureza E2 iguais a 4,468 kgf/mm e 3,797 kgf/mm, respectivamente.

Usando-se os valores assumidos de E2 como limites para as três situações, foram quantificados os corpos-de-prova que atendiam às metas estabelecidas, quais sejam, $fH \geq 50$ MPa, $40 \text{ MPa} \leq fH < 50 \text{ MPa}$ e $30 \text{ MPa} \leq fH < 40 \text{ MPa}$

Análise semelhante foi conduzida para os valores da dureza E3 obtidos pela equação de regressão da Figura N° 5.

As Tabelas N° 2 e N° 3 resumem os resultados obtidos para as duas durezas (E2 e E3, respectivamente).

Tabela N° 2
RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA EM CLASSES, A PARTIR DE VALORES CARACTERÍSTICOS DA DUREZA JANKA, INFERIDOS PELA RELAÇÃO DE REGRESSÃO COM A DUREZA E2.

1	2	3	4	5	6
Classe	Meta para a Dureza Janka (MPa)	Dureza E2 corresponde à meta (kgf/mm) Valores estimados pela regressão	Quantidade de c.p. selecionados pela dureza E2 (a partir da exigência da coluna 3)	Quantidade de c.p. que atingiram a meta (expressa na coluna 1)	Acerto (%) Obtido pela relação de valores das colunas 5 e 4
1	$fH \geq 50$	$E2 \geq 5,139$	126	117	92,8
2	$40 \leq fH < 50$	$4,468 \leq E2 < 5,139$	21	17	81,0
3	$30 \leq fH < 40$	$3,797 \leq E2 < 4,468$	17	6	35,3
4	$fH < 30$	$E2 < 3,797$	28	27	96,4

Tabela N° 3
RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA EM CLASSES, A PARTIR
DE VALORES CARACTERÍSTICOS DA DUREZA JANKA, INFERIDOS PELA RELAÇÃO
DE REGRESSÃO COM A DUREZA E3.

1	2	3	4	5	6
Classe	Meta para a Dureza Janka (MPa)	Dureza E3 corresponde à meta (kgf/mm) Valores estimados pela regressão	Quantidade de c.p. selecionados pela dureza E3 (a partir da exigência da coluna 3)	Quantidade de c.p. que atingiram a meta (expressa na coluna 1)	Acerto (%) Obtido pela relação de valores das colunas 5 e 4
1	$f_H \geq 50$	$E3 \geq 4,703$	125	116	92,8
2	$40 \leq f_H < 50$	$4,113 \leq E3 < 4,703$	25	19	76,0
3	$30 \leq f_H < 40$	$3,523 \leq E3 < 4,113$	15	5	33,0
4	$f_H < 30$	$E3 < 3,523$	27	26	96,3

Nota-se que, nos dois casos, as durezas E2 e E3, avaliadas com o durômetro portátil para madeiras, tiveram um acerto de 92,8%, quando o objetivo era selecionar madeiras com dureza Janka igual ou superior a 50 MPa. Igual análise, para a seleção de durezas Janka entre 40 MPa e 50 MPa (aqui denominada classe 2), leva a um acerto de 81,0% quando a mensuração é de dureza E2 e 76,0%, quando a mensuração é de dureza E3.

Para as duas últimas classes (classes 3 e 4), os percentuais de acerto foram bastante variáveis, tanto nos casos de E2 quanto de E3. Assim, para a classe 3, o percentual de acerto ficou em aproximadamente 35% quando da avaliação das durezas E2 e E3, e 96% para a classe 4.

Entende-se, contudo, que a maior justificativa de uso do equipamento se daria em condições de seleção de madeiras de categorias superiores, com o objetivo claro de separá-las das categorias inferiores.

Nessas situações o equipamento se comportou com um percentual de acerto elevado, que o habilita para esse emprego.

CONCLUSÕES

A partir da interpretação dos dados obtidos no programa experimental aqui desenvolvido, as conclusões principais do trabalho são:

Das várias energias estudadas para endentação com uso do durômetro portátil, a que revelou maior proximidade de resultados de dureza com aqueles obtidos pelo método de referência deste trabalho – dureza Janka – foi a energia de 200 kgf.mm.

Os coeficientes de determinação (R^2) das regressões entre a dureza E2 e a dureza Janka e entre a dureza E3 e Janka foram de 0,79. Esses coeficientes elevados revelam a possibilidade de inferência da dureza Janka a partir dessas duas durezas, mensuradas com o durômetro portátil para madeiras.

O equipamento teve bom comportamento no processo de classificação de madeiras, quando se utiliza a dureza Janka como parâmetro definidor das classes. Para as classes de dureza superiores ($f_H \geq 50$ MPa e $40 \text{ MPa} \leq f_H < 50$ MPa) a classificação a partir da dureza E2 revelou percentual de acerto de 92,8% e 81,0%, respectivamente. Quando a classificação foi feita a partir da mensuração de E3, os percentuais de acerto foram 92,8% e 76,0%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982. NBR 7511 Dormentes de madeira. Rio de Janeiro: ABNT.

Ballarin, A.W., 1996. Dormentes de madeira: a necessidade de uma revisão normativa. (1996) In: Congresso Internacional de Material Rodante, Via Permanente e seus Acessórios, 1996. Anais. CB-06/ABNT.

Ballarin, A.W.; Franco, N.; Yojo, T., 1998. Calificación de maderas brasilenãs nativas y de reforestacionas para durmientes. In: Congreso Latinoamericano IUFRO, 1998, Valdivia-Chile. Actas (CD-ROM). Valdivia: IUFRO.

Ballarin, A.W., 1999 Desempenho mecânico de dormentes prismáticos de *Eucalyptus citriodora*. Botucatu, FCA/UNESP, 204 p. Tese (Livre – docência em Propriedades mecânicas e estruturas de madeira), Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP.

Bektas, I., Alma, M.H., 2001. Determination of the relationships between Brinell and Janka hardness of eastern beech (*Fagus orientalis* LIPSKY). Forest Products Journal, v. 51, n°. 11/12 p.84-87.

Colenci, A.R., 2002. Qualificação mecânica de madeiras para uso como dormente ferroviário. Botucatu, UNESP, 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Colenci, A.R., 2006. Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário, 90 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Colenci, A. R. e Ballarin, A.W. e Rocha, R.R., 2002. Ensaio de dureza na classificação mecânica de dormentes de madeira. In: VIII EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, Uberlândia - MG. Anais do VII EBRAMEM.

Dal Pogetto, M.H.F.A., 2005. Ensaio de Dureza Paralela e Normal às Fibras da Madeira, Relatório Científico – UNESP –Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Botucatu.

Niederauer, F.R., 1982. Emprego da madeira de eucalipto como dormente. In: Encontro Brasileiro em Preservação de Madeiras, 1. Anais... IBDF/IPT/ABPM, p.203 – 32.

Nogueira, M.C.J.A.; Lahr, F.A.R., 1992. Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucaliptos na construção civil. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e de Estruturas de Madeira, São Carlos. Anais.São Carlos: LaMEM – EESC – USP, v.1., p. 37 – 48.

Sales, A.; Lahr, F.A.R., 1992. Características de resistência mecânica de espécies de eucalipto do Estado de São Paulo. In: Encontro Brasileiro Em MADEIRAS e Estruturas de Madeira, 4, São Carlos. Anais...São Carlos: LAMEM, EESC, USP, v.3, p 91-101.

Tuset, R. e Taibo, R.G., 1987. Producción de durmientes de eucalipto. Montevideo: Facultad de Agronomía, 1987. 36 p . (Boletín de Investigación, 4).

SISTEMAS SILVOPASTORALES, ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN INTEGRADA PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA AGRICULTURA EN CHILE.

Álvaro Sotomayor¹

RESUMEN

En general el principal interés de los pequeños y medianos productores agrícolas en Chile, dueños de más 8 millones de hectáreas en el país, es proveer de alimento e ingresos para su grupo familiar, por lo que destinan gran parte de su tierra a establecer cultivos anuales o praderas para alimento del ganado (vacunos, caballares, ovinos y caprinos), aunque sea en terrenos de laderas o de aptitud preferentemente forestal. Debido a esto, sus suelos se encuentran erosionados en un 60 %.

Estos productores destinan solo un bajo porcentaje a establecer plantaciones forestales que, en promedio en los últimos 5 años, han sido de menos de 2 ha por propietario de un total predial de 50 ha promedio con que cuenta un pequeño agricultor. Por ello, se ha estudiado durante los últimos 6 años un modelo forestal alternativo, destinado a los pequeños productores agrícolas, que considere en su planteamiento la identidad cultural y el sistema de vida de estos productores, la conservación de los recursos naturales y la permanencia de las familias campesinas en el campo, evitando así la migración a la ciudad, como elemento central del desarrollo rural. Para ello se considera la reintroducción de los árboles en la unidad predial campesina bajo un concepto distinto a las plantaciones forestales tradicionales, basado en sistemas agroforestales o agroforestería.

La agroforestería está referida a “Sistemas y tecnologías de uso del suelo y recursos naturales en los cuales las especies leñosas (árboles, arbustos, palmas, etc.) se utilizan deliberadamente bajo un sistema de manejo integral con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal”, los cuales pueden entregar interesantes alternativas económicas (Sotomayor, 1990). Esta forma de reintroducir los árboles en conjunto con la agricultura, ha sido bien recibida por los agricultores, estableciéndose más de 550 ha dentro del proyecto en los últimos 3 años, en terrenos de propiedad campesina, con un promedio de 1,4 ha agroforestal por unidad predial.

En este trabajo se presentan los principales sistemas silvopastorales de uso en Chile por los productores agrícolas, sus usos, resultados y potencialidades de aplicación en el sector silvoagropecuario Chileno, en base a un Programa de Desarrollo Agroforestal conjunto entre el Instituto Forestal (INFOR), el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), el Ministerio de Agricultura y los Gobiernos Regionales y Locales.

Palabras claves: Campesinos, silvopastoral, agroforestería

1-Instituto Forestal de Chile (INFOR), Casilla 109-C, Concepción, Chile. asotomay@infor.cl.

SILVOPASTORAL SYSTEMS, AN ALTERNATIVE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE AGRICULTURE IN CHILE.

SUMMARY

The *campesinos* (small farmers) in Chile, own more than 8 million hectares in rural properties, with an average of 50 hectares. The main objective of the *campesinos* is to provide food, care and money to cover their first needs. They organize their lands for crops, prairies and livestock production, although the land is mainly forest land, that is eroded, and only a small area is utilized to generate new forest plantations, which in the last five years have been less than two hectares per property. This is one of the reasons why the reforestation activity did not increase in this kind of small owner properties, although in Chile there are more than 2 million hectares without forest cover belonging to *campesinos*, which can be afforested, even there is a special foment law to promote reforestation in small farmers properties in the country. Other reason is that the extension programs were trying to use the same reforestation strategy that was used in the past with the forest companies and large farming lands, which are not compatible with small farmers, therefore this strategy did not work.

Considering the above, the Forest Institute (INFOR) with the Institute for Agriculture Development (INDAP) studied an alternative model for reintroduce forests in *campesino's* lands, using the tree in a natural way, with agroforestry arrangement, that allows them to get their main needs through crops, livestock, and wood for energy and timber, but in the same land, in a compatible way altogether with natural resource conservation, land-water-biodiversity, and to promote *campesinos* to remain in the farm. This new approach has been well received by these producers, which has enabled new land being used in agroforestry systems, such as silvopasture, windbreaks, alley cropping and riparian buffers, with 550 ha established with these systems, during the last three years.

This paper presents the main use of silvopastoral systems in Chile by the farmers, their uses, performance and potential use in Chile, based on a joint effort between the following Chilean institutions: Forest Institute (INFOR), Agriculture Development Institute (INDAP), Ministry of Agriculture, and Regional and Local Governments.

Key words: Small farmers, silvopasture, agroforestry

INTRODUCCIÓN

La escasez de alimentos es un problema creciente a nivel mundial, lo cual se hace presente en el mundo rural y en la agricultura campesina en Chile. La presión por la obtención de alimentos se ve limitada por una desigual distribución global de fuentes de alimentos; por procesos de desertificación acelerados por la pérdida de cubiertas arbóreas protectoras; por la erosión y la pérdida de suelos por uso de sistemas productivos agrícolas inadecuados a la condición de estos; por la disminución de la superficie boscosa por quemas, sobrepastoreo y roces; por la disminución de suelos fértiles debida a la expansión de las ciudades, la construcción de caminos y otras alteraciones (Sotomayor, 1990a); y por la disminución de la disponibilidad de recursos hídricos.

Tradicionalmente los agricultores han percibido una incompatibilidad entre la producción agrícola y los árboles o bosques presentes en las propiedades rurales. Para ellos los árboles han representado un competidor, estimando que las especies forestales reducen la producción agropecuaria, dado lo cual los árboles y arbustos han sido extraídos o quemados, modificando el paisaje rural a situaciones donde el árbol es escaso y los terrenos están desprotegidos, originando erosión y pérdida de fertilidad de los suelos (Figura N° 1). Cambiar ésta percepción puede ser un proceso lento y difícil, ya que el uso tradicional de la tierra y el escaso manejo o cuidado de los recursos naturales a menudo están firmemente establecidos y socialmente aceptados en las comunidades locales, lo cual requiere un largo proceso de educación y convencimiento con métodos demostrativos y un trabajo participativo con éstas.



Foto: Carlos Ovalle

Figura N° 1
PAISAJE RURAL DEGRADADO POR EXTRACCIÓN DE COBERTURA PROTECTORA
EN SUELOS DE LA REGIÓN DEL MAULE

Una forma de demostrar la compatibilidad de uso de las especies leñosas y la agricultura, es a través del establecimiento de la agroforestería en el mundo rural. El propósito de la inclusión del componente leñoso en conjunto con los usos agropecuarios en un mismo terreno es lograr un sinergismo entre éstos componentes productivos, lo cual puede conducir a mejoras netas en una o más características, tales como productividad y sostenibilidad, así como también a diversos beneficios ambientales y no-comerciales. Como ciencia, la agroforestería es multidisciplinaria y a menudo involucra, o debe involucrar, la participación de campesinos o agricultores en la identificación, diseño y ejecución de las actividades de investigación.

En este documento se exponen los resultados de 8 años de trabajo, donde INFOR e INDAP, con el apoyo del Ministerio de Agricultura, han realizado una labor de difusión y transferencia tecnológica para la implementación de sistemas agroforestales en la agricultura familiar campesina en Chile. La inclusión de los árboles en los sistemas agropecuarios tradicionales de la agricultura no solo puede recuperar el paisaje rural, mejorando su belleza y estética, sino que ayuda a recuperar los suelos y los sistemas hídricos, y a entregar, a través de la introducción de componentes leñosos, una alternativa económica adicional que puede mejorar la rentabilidad del negocio agrícola.

Se presentan los principales sistemas silvopastorales en uso en Chile, desde la Región de Arica y Parinacota, por el Norte, hasta la Región de Aysén, por el Sur.

De acuerdo a los análisis realizados, sobre la base de los resultados obtenidos por el Programa de Desarrollo Agroforestal que el Instituto Forestal lleva a cabo desde al año 2002, y considerando la realidad campesina de Chile, los Sistemas Silvopastorales que mejor interpretan la realidad cultural y las necesidades económicas y ambientales de estos productores, son:

- Sistema silvopastoral con tamarugo (*Prosopis tamarugo*)
- Sistema silvopastoral con especies leñosas forrajeras
- Sistema silvopastoral con espino (*Acacia caven*)
- Sistema silvopastoral con álamo (*Populus spp*)
- Sistema silvopastoral con pino radiata (*Pinus radiata*)
- Sistema silvopastoral con pino contorta (*Pinus contorta*)

SISTEMA SILVOPASTORAL CON TAMARUGO

El tamarugo es una especie nativa y endémica del norte de Chile, particularmente de la "Pampa del Tamarugal", a 70 km al este de la ciudad de Iquique, Región de Tarapacá. Este árbol crece en condiciones muy adversas de suelo y clima, es una especie multipropósito y resistente a la sequía. Se la usa como forraje, principalmente por sus brotes tiernos y sus frutos, también como combustible, en usos artesanales, y su madera se aserría para aplicaciones especiales de calidad, como revestimientos de piso.

Crece en el ecosistema desértico de la Pampa del Tamarugal, que presenta características muy particulares. El clima corresponde a un desértico normal, cuyas connotaciones de mayor significancia biológica son: Elevadas temperaturas diurnas, gran oscilación térmica diaria, carencia casi absoluta de precipitaciones, presencia ocasional de neblinas, baja humedad relativa y alta radiación solar (FAO, 1981). Los suelos, constituidos por material de relleno de origen fluvial, provenientes de la cordillera de Los Andes, están cubiertos por una costra salina

superficial de 0,10 a 0,60 m o mas de espesor (FAO, 1985; FAO, 1981).



Figura N° 2
ÁRBOL AISLADO DE TAMARUGO (a) Y PLANTACIÓN DE TAMARUGOS (b)

Bajo estas condiciones, en la Pampa del Tamarugal, área protegida bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), se realiza un talajeo controlado con caprinos y ovinos en ciertas épocas del año para favorecer a pequeños productores de áreas vecinas a esta área.

El tamarugo produce abundante forraje, utilizado principalmente por el ganado ovino y caprino y, ocasionalmente, por ganado bovino. Su productividad dependerá de su edad y desarrollo, de su densidad, y de la profundidad y calidad del agua de la napa freática. Los frutos y hojas al caer se distribuyen en el suelo, existiendo mayor densidad en la proyección de la copa. El forraje producido contiene 12 % de proteína cruda, 30 % de fibra y 1,9 % de extracto etéreo, siendo la digestibilidad del fruto para proteína un 13,89 %, para el extracto etéreo 1,16 %, para el extracto libre nitrogenado 28 % y para el total de nutrientes digestibles 50,58 %.

Oyarzun (1967) informa que sobre la base de la medición de 19 árboles, obtuvo un peso medio de 2,10 kg de fruto por metro cuadrado de proyección de la copa de los árboles. Asimismo, en árboles de 30 años de edad, en el promedio de frutos y hojarasca por metro cuadrado de la proyección de la copa de los árboles, observó un rendimiento de 3,40 kg/m², de materia seca.

Ensayos de alimentación del ganado ovino (Merino Precoz Francés) en la Pampa del Tamarugal, comparando diferentes dietas, muestran interesantes resultados (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
RESULTADOS OBTENIDOS CON OVEJAS MERINO PRECOZ FRANCÉS, EN LA PAMPA DEL TAMARUGAL
ALIMENTADAS CON HOJAS Y FRUTOS DE TAMARUGO, HENO DE ALFALFA Y ALIMENTACIÓN LIBRE EN BOSQUE

Variables	Engorda por Tipo de Alimentación		
	Heno de hojarasca y frutos de tamarugo (2 kg/día)	Heno de alfalfa (1,5 kg/día)	Utilización libre en bosque de tamarugo
Peso al Destete (kg peso vivo)			
Borrega	15,0	21,5	26,7
Cordero	14,0	25,0	29,6
Peso Vellón (kg)	2,81	3,18	3,77
Largo de Fibra (mm)	5,90	6,44	-
Parición (%)	48	63	111

(Lanino, 1966, cit por FAO, 1981)

SISTEMA SILVOPASTORAL CON ESPECIES LEÑOSAS FORRAJERAS

En Chile este modelo es conocido y relacionado con especies como *Atriplex spp* y *Acacia saligna* en la zona semiárida del país, y otras especies que están siendo utilizadas en la zona centro-sur, como es el caso del *Chamaecytus proliferus*, más conocido como tagasaste.

Las plantas del género *Atriplex* son especies arbustivas o leñosas bajas, anuales y perennes, de flores unisexuales, las masculinas sin brácteas con envoltura floral y las femeninas con brácteas sin envoltura floral, tienen de uno a cinco estambres unidos en la base y hojas lanceoladas con pelos glandulares y estrellados. Las semillas están envueltas en dos brácteas formando una nuez, dura y difícil de romper en el caso de *Atriplex repanda*. Los arbustos forrajeros son valorados esencialmente debido a la propiedad de ser fuente de forrajes de ovejas y cabras en períodos secos, cuando no existe otra fuente natural de forraje verde, lo que ocurre durante el período de verano-otoño (Meneses y Squella, 1996). Es así que se han plantado más de 40.000 ha, principalmente en la Región de Coquimbo para suplementar la escasez de forraje en los meses verano.

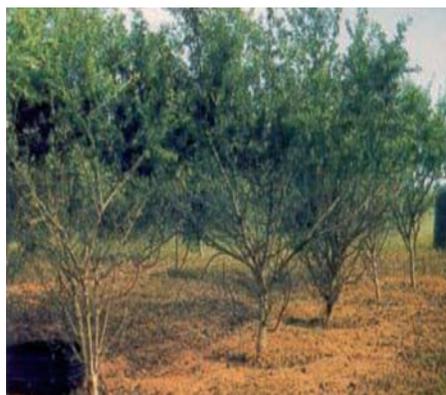
Tagasaste es una leguminosa arbustiva siempreverde, capaz de aportar forraje al ganado como suplemento alimenticio en zonas mediterráneas con baja disponibilidad de praderas verdes naturales durante el periodo estival a causa de la sequía (INFOR, 2000). Es una planta leñosa parcialmente resistente a las heladas y a la sequía, muy buena fijadora de nitrógeno y generosa fuente forrajera (Ovalle *et al*, 1993). Esta especie no se comporta bien en suelos muy arcillosos y con dos o tres días de suelos inundados muere por asfixia radicular. El ideal es un suelo de lomaje suave y de textura liviana. Crece en áreas con precipitaciones entre 500 a 700 mm anuales y altitudes de 400 a 1.200 msnm. La temperatura óptima en invierno varía entre 5° y 15 °C y entre 20 y 30 °C en verano. Soporta estaciones secas en verano de

hasta 4 a 5 meses (Op, cit).

Esta especie puede alcanzar alturas de 2 a 4 m en el seco entre las Regiones O'Higgins y La Araucanía, donde se han obtenido los mejores resultados, en términos de producción de forraje, con valores promedio de 1,8 t/ha/año en la tercera temporada de crecimiento.

En cuanto a su manejo, es necesario realizar control de altura y forma de la copa a través de podas, que permitan por una parte aumentar la disponibilidad de forraje y por otra hacerlo accesible a los animales para ramoneo directo. Ensayos realizados por INIA indican que los mejores resultados, se lograron con podas entre los 80 y 100 cm de altura. El ramoneo se puede realizar durante el segundo año de establecimiento, realizando pastoreo rotativo por unidades cercadas.

En ovinos, la época de utilización coincide con la época mas crítica del año, es decir febrero-marzo durante el encaste, y junio-julio durante la lactancia (Avendaño *et al*, 1999, en cit por INFOR, 2000).



Fotos: Carlos Ovalle



Figura N° 3
PASTOREO EN PLANTACIONES DE TAGASASTE

SISTEMA SILVOPASTORAL CON ESPINO

Se presentan a continuación para este caso resultados de una experiencia realizada en la Unidad Demostrativa Los Aromos, en la Región del Maule, en el marco del Programa "Modelos Agroforestales para un Desarrollo Sustentable de la Agricultura Campesina en Chile", desarrollado por el Instituto Forestal y financiado por el Instituto de Desarrollo Agropecuario.

Las estepa de *Acacia caven* (Mol.) Mol, o espinal, cubre una superficie aproximada de 3,8 millones de hectáreas en Chile (FAO, 2008), desde la región de Coquimbo por el norte hasta la Región de Bio Bio por el sur. Puede encontrarse como formaciones puras o asociadas a otras especies arbóreas como quillay (*Quillaja saponaria*), litre (*Lithraea caustica*), maitén (*Maytenus boaria*), y otras.

Actualmente, la situación de desarrollo de esta especie es producto de la degradación del bosque esclerófilo original, constituyéndose en muchas situaciones como especie dominante, gracias a su capacidad de retoñar desde tocones y raíces. Se encuentra preferentemente en áreas donde la agricultura y ganadería son las actividades productivas más importantes, por lo que ha sido cortada para producir leña y carbón, quemada o rozada para abrir terrenos para la agricultura y ganadería y sobre talajeada por la presión que ejercen los rebaños de ganadería ovina y caprina.

Esta situación podría ser revertida si se hiciera un manejo adecuado de esta especie, especialmente asociada a la ganadería, dado que ha sido demostrado (Olivares, 2006) que con un buen manejo el espino ayuda a un aumento de la productividad de la pradera, tanto natural como artificial.

En este trabajo, se demuestra esta factibilidad, dado que el espino, al ser una especie leguminosa, aporta nitrógeno al suelo, mejora el contenido de materia orgánica (Sotomayor *et al.* 2008; Olivares, 2006) , aumenta la retención de humedad, disminuye e intercepta la radiación solar (Olivares, 2006), y regula la temperatura, especialmente en invierno, con temperaturas superiores bajo copa que fuera del área de proyección (Castillo *et al.*, 1988), lo cual en definitiva mejora las condiciones para el crecimiento y desarrollo de la pradera (Ovalle y Avendaño, 1984).

En el año 2005 se instaló el ensayo en la Unidad Demostrativa Los Aromos con el fin de probar propuestas de manejo de espinales, con pradera natural y sembrada, y compararlas con una pradera natural sin manejo, y evaluar así el efecto del espino en la productividad de la pradera.

Antecedentes Climáticos

De acuerdo a la clasificación agroclimática de la región, el distrito dominante es Templado Mesotermal Inferior Estenotérmico Mediterráneo Semiárido, presente en cuencas y valles costeros, secano interior (Santibañez y Uribe, 1993).

Las temperaturas oscilan en promedio entre una máxima en enero de 29 °C y una mínima en julio de 4,9 °C. El período libre heladas es de 259 días, con un promedio de 6 heladas por año. Registra anualmente 1.762 días-grado y 950 horas de frío. La precipitación media anual es de 696 mm, con un déficit hídrico de 931 mm y un período seco de 7 meses. La menor influencia oceánica favorece la amplitud térmica mayor que los distritos vecinos, con inviernos relativamente fríos y veranos calurosos.

En la zona más oeste existen ciertos cambios en el clima, que se asocian a los identificados para las serranías interiores de la costa. En este caso, las temperaturas varían en promedio entre una máxima en enero de 28,5 °C y una mínima en julio de 5,4 °C. El período libre de heladas aumenta a 279 días, con un promedio de 2 heladas por año. Registra anualmente 1.712 días-grado y 681 horas de frío. La precipitación media anual es mayor, con 780 mm, el déficit hídrico es de 884 mm y el período seco se mantiene en 7 meses. Las temperaturas invernales son moderadas, con baja incidencia de heladas y los veranos son calurosos y secos, debido a su cercanía a la costa.

Material y Método

Se instalo un ensayo en el predio Los Aromos, a unos 23 km de la ciudad de Cauquenes, por la ruta a San Javier, en una ladera con exposición noreste, sobre una superficie de 600 m² de espinal. Este sector, hasta el momento del establecimiento del ensayo, se manejaba bajo un sistema ovino extensivo, con pradera natural, el cual no había sido fertilizado en las 4 temporadas anteriores al ensayo.

Los tratamientos aplicados son los siguientes:

Cuadro N° 2
DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

Tratamiento	Descripción
A	Silvopastoral espino con pradera sembrada bajo cobertura
B	Silvopastoral espino con pradera sembrada con protección lateral
C	Silvopastoral espino con pradera natural bajo cobertura
D	Silvopastoral espino con pradera natural con protección lateral
E	Testigo pradera natural sin protección

A. Sistema silvopastoral espino con pradera sembrada bajo cobertura: A través de esta propuesta de esquema de manejo silvopastoral, se pretende demostrar una alternativa de manejo para estos bosques tipo estepa, para mejorar la productividad del suelo. En este caso se manejaron los espinales existentes para lograr una cobertura de copa de entre 40-50 %, con el establecimiento de una pradera establecida con las especies trébol balanza (*Trifolium michelianum*), hualputra (*Medicago polymorpha*) y trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L. subsp *subterraneum*), bajo protección de copa del espinal.

B. Sistema silvopastoral espino con pradera sembrada con protección lateral: En este caso se manejaron los espinales existentes con podas y raleos, para lograr una cobertura lateral de alrededor de 30 %, con una pradera establecida con las especies trébol balanza (*Trifolium michelianum*), hualputra (*Medicago polymorpha*) y trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L. subsp *subterraneum*), bajo protección lateral del espinal.

C. Silvopastoral espino con pradera natural bajo cobertura: En este tratamiento se manejaron los espinales existentes para lograr una cobertura de copa de entre 40-50 %, con el manejo de la pradera natural existente, con el objetivo de demostrar el efecto de los espinales sobre este tipo de praderas

D. Silvopastoral espino con pradera natural con protección lateral: En este tratamiento se analiza el efecto de la protección lateral de los espinales, con un 30 % de protección, sobre una pradera natural.

E. Testigo pradera natural sin protección: En este tratamiento se evalúa la productividad de una pradera natural sin manejo y sin protección de los espinales, para comparar una situación

natural de uso de los suelos por parte de pequeños productores agrícolas de esa zona.

En los sistemas silvopastorales con establecimiento de pradera artificial, se realizó poda aérea y de formación a los espinos con objetivos forrajeros y de protección. Para el establecimiento de pradera, se cultivó el suelo para la siembra utilizando los elementos tradicionales del propietario, con caballo, dado que no era posible introducir maquinaria por la presencia de espinos, raíces y tocones. Se realizó rastraje post-siembra y aplicación de fertilizantes (mezcla de superfosfato triple, urea, muriato de potasio, boronatrocalcita y yeso agrícola). A partir del año 2006 fueron introducidos ovinos para su pastoreo.



(a) 2005



(b) 2006

Figura N° 4

PREPARACIÓN DEL SUELO Y MANEJO ESPINALES CON DIFERENTES INTENSIDADES PREVIO A LA SIEMBRA (A) Y ESPINALES MANEJADOS CON ESTABLECIMIENTO DE PRADERA (B)

Los espinales fueron podados y raleados para dejar una cobertura de copa de 40-50 % en sectores de tratamiento A y C, y de 30 % para protección lateral en tratamientos B y D; para el tratamiento E, se eligió un sector sin presencia de espinos.

Para la medición de la productividad de la pradera dentro de los tratamientos a evaluar, se miden las variables de la pradera utilizando jaulas metálicas de exclusión, de una medida de 50 cm de ancho x 100 cm de largo x 50 cm de alto, con un área de 0,5 m². Se utilizaron 3 jaulas de exclusión para cada tratamiento donde se evaluó la productividad de la pradera en materia seca (kg MS ha⁻¹) (Figura N° 5).



Figura N° 5

JAUHAS DE EXCLUSIÓN PARA MEDICIÓN DE PRADERA

Resultados y Discusión

Los resultados de la evaluación de productividad de la pradera por tratamiento se exponen en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
PRODUCCIÓN DE LA PRADERA POR TRATAMIENTO

Tratamiento	Producción Temporada (MS kg ha ⁻¹)	
	2006-2007	2007-2008
A. Silvopastoral Espino con Pradera Sembrada Bajo Cobertura	4467 ^{a(*)}	4050 ^a
B. Silvopastoral Espino con Pradera Sembrada con Protección Lateral	3947 ^a	4460 ^a
C. Silvopastoral Espino con Pradera Natural Bajo Cobertura	4053 ^a	3940 ^a
D. Silvopastoral Espino con Pradera Natural con Protección Lateral	2413 ^b	2410 ^b
E. Testigo Pradera Natural sin Protección	1813 ^b	1810 ^b

(*) Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

De los resultados expuestos se puede inferir el importante efecto de los espinales sobre la productividad de la pradera, dado el efecto protector que reduce la evapotranspiración de los vegetales, aporte de nitrógeno y de materia orgánica. También es importante el aporte sobre la productividad del suelo de una pradera artificial sembrada, especialmente en aquellos casos donde la pradera natural se encuentra muy degradada por efecto de un mal manejo y sobretalaje, como es en este caso.

La importancia de la cobertura de los espinales en un manejo silvopastoral, se puede deducir si se comparan dos situaciones con pradera natural, con y sin protección de espinales, como es el caso entre el tratamiento C y E. En este caso el aporte que puede hacer la protección de los espinos implica un aumento de 123,5 % de productividad solo por este efecto. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Olivares (2006) y Ovalle y Avendaño (1984).

También es importante el efecto combinado de la producción de un suelo cuando aparte de manejar adecuadamente la cubierta de espinos, se introduce una pradera artificial para reemplazar una pradera natural altamente degradada. En este caso al comparar los tratamientos A y E, se observa que por este efecto combinado se puede lograr un aumento de la productividad de un 146,3 %.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados expuestos, se concluye que es factible mejorar la productividad de una pradera con fines de producción animal, manejando adecuadamente los espinales.

Este manejo implica mantener una cubierta arbórea que otorgue protección a la pradera, con

una cobertura de copa entre 40-50 %, lo cual permitirá mejorar la producción praterense, mejorar la producción animal, y dar protección a los suelos, en especial en aquellas situaciones de laderas donde el sacar la cubierta protectora arbórea origina erosión y pérdida de suelos.

Los espinos, aparte de mejorar la productividad de un sistema silvopastoral, cumplen funciones ecológicas al mejorar las condiciones ambientales bajo su influencia. Entregan protección a los animales frente a bajas y altas temperaturas y pueden ofrecer productos madereros como leña y carbón, y no madereros como hojas y frutos para alimento animal y flores con fines melíferos, junto a mejorar la belleza del paisaje cultural y económico.

SISTEMA SILVOPASTORAL CON ÁLAMOS

El género *Populus* tiene especies interesantes para su utilización en sistemas silvopastorales, por su forma de copa y tipo de hoja, lo que permite que la luz penetre más profundamente hacia la pradera que otras especies, coníferas o latifoliadas, de hoja caduca o perenne. Además por ser caduca, permite que en otoño y parte de la primavera la pradera pueda crecer sin grandes interferencias. La principal ventaja de un manejo silvopastoral con esta especie, es que crece en suelos fértiles, con riego, lo cual permite, especialmente en los primeros 7 años de la rotación, que se pueda desarrollar una pradera natural o artificial, mejorada o no, que permitiría sustentar una masa ganadera interesante para los propietarios.

En Chile, la empresa Agrícola y Forestal El Álamo, en la Región del Maule, está utilizando un sistema de producción agropecuario entre las hileras de álamos, con un cultivo de maíz los primeros tres años, para luego pastorear sus plantaciones durante toda la rotación, dado que el sistema permite mantener la pradera y consecuentemente una producción ganadera, aunque a partir del momento del cierre de copas la producción de forraje disminuye.

En el Fundo Austria de Forestal Tornagaleones, en la Región de Los Lagos, INIA desarrolló un estudio silvopastoral con álamo en combinación con diferentes especies forrajeras (Cuadro N° 4). Esta experiencia de manejo también ha sido usada para recuperación de suelos degradados o improductivos en suelos ñadis. Los pequeños y medianos productores lo utilizan especialmente en suelos de vegas o húmedos, dado que les permite utilizar estos suelos en forma productiva. También se utilizan álamos masivamente en cortinas cortavientos para protección de praderas y cultivos.

Cuadro N° 4
CULTIVOS FORRAJEROS ASOCIADOS A PLANTACIONES DE ÁLAMO

Consideraciones técnicas	
Especies/cultivos	Especie forestal: Álamo Especies forrajera estudiadas: Alfalfa, avena, ballica anual, ballica bianual, ballica híbrida, ballica perenne, cebada, triticales
Diseño	Establecimiento cultivos forrajeros en plantaciones de álamo de edades de 2, 4 y 6 años. Espaciamento de plantación 6 x 6 m. Fecha de siembra: agosto (alfalfa y avena), marzo (ballica anual, bianual, híbrida y perenne), septiembre (cebada), y mayo (triticale).
Faenas de establecimiento	Preparación de suelo tradicional según tipo de cultivo (rastra offset, vibrocultivador, rodillo compactador, sembradora, etc). Fertilización.
Rotaciones forestal, agrícola y pecuaria	Forestal: 15 años Forraje: anual
Principales productos esperados	Forraje y animales. Materia prima para la industria forestal

(INIA, 2001)

De las experiencias de INIA en el predio Austria de Forestal Tornagaleones se desprenden los siguientes resultados:

Si bien existieron años en que en los sectores con cultivos no se observaban incrementos en diámetro de los fustes en forma notoria, en general existe un incremento promedio superior en los sectores en los cuales se establecieron alfalfa, ballica bianual, ballica híbrida y cebada (2,48 cm, 2,64 cm, 2,51cm y, 2,56 cm, respectivamente), comparado con la condición sin cultivo (2,45 cm).

La fertilización realizada sobre los cultivos mejora el crecimiento de los árboles.

En álamos menores a siete años la producción de materia seca por hectárea de la pradera es interesante, observándose el mejor comportamiento en la ballica y el triticales, posteriormente se reduce significativamente en éstos como en todos los cultivos.

En ballica se obtiene una producción promedio de 8,1 t ms/ha con 4 m de cobertura de copa y 6,2 t ms/ha con 5,4 m; en triticales se obtiene 8,7 y 4,1 t ms/ha con 5,4 y 6,2 m, respectivamente; en avena se consigue la máxima producción con 4 m de cobertura y en cebada con 4,4 m se logran 8,9 t ms/ha.

Se recomienda establecer las praderas solo hasta que los árboles alcancen una cobertura de copa de 5,4 a 6,2 m.

De acuerdo a la evaluación, la condición para un adecuado crecimiento de los cultivos se logra hasta el séptimo año, alcanzando un 36 % promedio de producción respecto del cultivo tradicional.

En pradera natural sólo se consigue en promedio 1,96 t ms/ha para las mismas coberturas de copas.

Al igual que en la productividad, la calidad del forraje (contenido proteico y energético) y la digestibilidad, disminuyen a medida que aumenta la sombra de los árboles.

El forraje proveniente de cultivos asociados a álamos mayores de seis años presenta problemas en el proceso de fermentación, debido al bajo contenido de carbohidratos solubles y el alto contenido de humedad.



Figura N° 6
PRADERAS Y ANIMALES BAJO COBERTURA DE ÁLAMO

En el Cuadro N° 5 se exponen algunos resultados de cultivos realizados bajo diversas coberturas de copa con álamos.

Cuadro N° 5
PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE DIFERENTES CULTIVOS FORRAJEROS EN PLANTACIONES DE ÁLAMO SEGÚN COBERTURA DE COPA, REGIÓN DE LOS RÍOS

Cultivo Forrajero	Cobertura de Copa (m ²)	Producción Media Forraje (t MS/ha)
Ballica	4,0	8,1
	5,4	6,2
Triticale	5,4	8,7
	6,2	4,1
Avena	4,0	6,5
Cebada	4,4	8,9

(INIA, 2001)

SISTEMA SILVOPASTORAL CON PINO RADIATA

En la actualidad los pequeños propietarios silvoagropecuarios ubicados en el seco costero de la Región de O'Higgins destinan gran parte de sus suelos a la actividad ganadera extensiva, principalmente con ovinos, sin resguardo de la capacidad de uso de los suelos, encontrándose vastas extensiones de suelos de clase VI y VII (forestal-ganadera), cubiertas con praderas naturales de regular a mala calidad, con una baja productividad para la producción de carne y lana, y con suelos erosionados producto de un sobretalajeo y de una baja protección con vegetación perenne sobre estos. Esto radica en que el pastoreo es uno de los rubros que les permite ingresos anuales, junto con cultivos anuales como trigo, cebada, lentejas y otros, tanto para la generación de ingresos para el autoconsumo, como para la venta de productos para la compra de productos de primera necesidad para su grupo familiar.

Por lo anteriormente señalado, el mejoramiento de la rentabilidad de los predios de la Región de O'Higgins, o al menos de un importante segmento de ellos, requiere de innovación y de la incorporación de tecnologías adecuadas, que permitan mejorar la eficiencia de producción de sus rubros tradicionales, y que considere la sustentabilidad del sistema utilizado. Dentro de esta innovación e incorporación de tecnología, es posible la integración del rubro forestal y ganadero en forma conjunta como sistema productivo silvopastoral, dentro de un mismo espacio físico, potrero, o bajo un ordenamiento predial, que permita generar una simbiosis positiva, en la cual se vean beneficiados ambos rubros.

Desde el punto de vista técnico, con la incorporación de árboles en las unidades prediales destinadas a la ganadería tradicional, ordenados de acuerdo a algún diseño silvopastoral, se puede ayudar a incrementar la productividad de los recursos agropecuarios, principalmente en la producción de forraje y producción animal con ganado ovino o bovino, por el mejoramiento de las condiciones ambientales dentro de su área de influencia gracias a la protección brindada por los árboles a los vegetales y animales, que se traduce en disminución de la velocidad del viento, incremento de la temperatura ambiental y del suelo, aumento de la humedad relativa, disminución del déficit hídrico, protección del ganado contra lluvias y bajas temperaturas, entre otros (RAN, 2008; Sotomayor *et al.*, 2004; Sotomayor, 1990; Quam & Johnson, 1999). Los recursos forestales introducidos son beneficiados por la el ganado en el sistema, a través del control de malezas que afectan el establecimiento y crecimiento de las plantas, en especial en los primeros años de crecimiento; la disminución del riesgo de incendios forestales; el reciclaje de nutrientes en el suelo, las fertilizaciones que reciban las praderas y cultivos forrajeros asociados a las plantaciones; y por el mayor espacio dejado para el crecimiento de los árboles, producto de un ordenamiento agroforestal. Otro aspecto ambiental importante que pueden otorgar los árboles dentro del sistema, es la protección de los suelos frente al viento y las gotas de lluvia, por lo que se espera una disminución de la erosión.

Desde el punto de vista económico, los productores locales que incorporen estas tecnologías mixtas y las integren dentro de sus predios, podrán mantener un flujo de caja anual, dado por la venta de animales (carne y/o lana), que permitirá solventar los gastos propios del grupo familiar, como también del manejo de los bosques mientras estos maduran y entreguen productos (Sotomayor, 1990), y así mejorar su calidad de vida (Leslie *et al.*, 1998; Polla, 1998). Posteriormente, podrán obtener recursos madereros intermedios, como metros ruma, madera para postes o leña, al momento de efectuar las labores de raleos y poda y, finalmente, podrán

obtener productos maderables de alta calidad (madera libre de nudos o con nudos firmes) al final de la rotación de la plantación forestal al haber manejado sus bosques. Además, sus predios se habrán valorizado al establecer una masa forestal dentro de ellos.

Todo este sistema integrado de producción silvopastoral se caracteriza por su sustentabilidad, ya que permite recuperar terrenos degradados, controlando los procesos de erosión, permitiendo la protección de los cursos de agua y el mejoramiento de la calidad de esta, aumentando la capacidad de captura del CO₂ atmosférico y, al mismo tiempo, generar un paisaje estéticamente más agradable y preservar y aumentar la vida silvestre.

Se presentan continuación los resultados de un estudio realizado en el Secano Costero de la Región de O'Higgins, Centro Experimental Forestal Tanumé de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), con el objeto de comparar la productividad de sistemas silvopastorales con pino radiata asociados a tres tipos de pradera, con ganado ovino, versus sistemas tradicionales de uso del suelo con ganado ovino, y una situación de manejo forestal tradicional.

Material y Método

El Centro Tanumé se ubica a 40 km al norte de la ciudad de Pichilemu, Comuna de Pichilemu, Provincia de Cardenal Caro, 34°15' LS y 74°49' LO. Su propietario es CONAF.

La especie forestal utilizada es *Pinus radiata*. La componente herbácea está representada por praderas sembradas, que incluyen trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) y falaris (*Phalaris aquatica* cv *sirosa* y cv *steptanera*); pradera natural mejorada con fertilización; y pradera natural sin fertilización. La componente animal por su parte está constituida por ovinos, de raza Merino Precoz; tipo ovino: borregas secas.

Las principales características climáticas de la zona están dadas por una temperatura media anual de 11,6 °C, una media mínima de 8,6 °C, un período libre de heladas de 9 meses, una precipitación media anual de 705 mm y un período seco estival de 8 meses. Los suelos se ubican sobre terrazas marinas.

Para evaluar la factibilidad de la combinación silvopastoral en el secano costero de la región el estudio consideró la implementación de diferentes módulos experimentales en los que se comparan los usos tradicionales del suelo en la zona, como son los usos forestales con pino radiata y los usos ganaderos con ovinos, con un sistema silvopastoral con pino radiata asociado a producción ovina y diversos tipos de praderas.

Se instalaron durante el año 1983 unidades de investigación de 6 ha cada una que permitieran estudiar el comportamiento de la especie *Pinus radiata* bajo densidades silvopastorales (625 arb.ha⁻¹) y manejo intensivo con ovinos, y su influencia en la productividad de una pradera naturalizada mejorada y una sembrada. Estas se comparan además con un sistema ganadero con ovinos, con los mismos tres tipos de praderas y con un sistema forestal tradicional con una densidad de 1.600 arb.ha⁻¹ al establecimiento y con un manejo forestal apropiado para la pequeña propiedad.

El detalle de los tratamientos, su diseño y superficie, se resume en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6
DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS A COMPARAR EN TANUMÉ

Tratamiento	Componente Arbóreo			Tipo de Manejo	Esquema de Plantación
	Densidad (arb/ha)		Altura Poda (m)		
	Inicial	Final			
T 1: PS 625	625	200	7,0	Sistema Silvopastoral con producción ovina, pradera sembrada de trébol subterráneo y falaris, asociado con una cubierta arbórea de <i>Pinus radiata</i>	Plantación en conglomerados de 4 plantas de <i>Pinus radiata</i> plantadas a 2 x 2 m, espaciadas a 6 m entre ellos, (2x2) x 6 m
T 2: PM 625	625	200	7,0	Sistema Silvopastoral con producción ovina, pradera natural mejorada con régimen de fertilización, asociado con una cubierta arbórea de <i>Pinus radiata</i>	Plantación en conglomerados de 4 plantas, de <i>Pinus radiata</i> plantadas a 2 x 2 m, espaciadas a 6 m entre ellos, espaciamiento (2x2) x 6 m
T 3: PN 625	625	200	7,0	Sistema Silvopastoral con producción ovina, pradera natural, asociado con una cubierta arbórea de <i>Pinus radiata</i>	Plantación en conglomerados de 4 plantas, de <i>Pinus radiata</i> plantadas a 2 x 2 m, espaciadas a 6 m entre ellos, espaciamiento (2x2) x 6 m
T4: Forestal 1600	1600	500	4,10	Manejo forestal con podas y raleos con fines de producción de madera; sin manejo ganadero	Plantación a una densidad de 1600 arb/ha, con espaciamiento a 2x3 m
T5: PS	-	-	-	Sistema ganadero con producción ovina, y pradera sembrada de trébol subterráneo y falaris	Sin árboles
T6: PM	-	-	-	Sistema ganadero con producción ovina, y pradera natural mejorada con fertilización.	Sin árboles
T7: PN	-	-	-	Sistema ganadero con producción ovina, y pradera natural sin fertilización.	Sin árboles

PS: Pradera sembrada; PM: Pradera Mejorada; PN: Pradera Natural; 625: densidad 625 arb.ha⁻¹; 1600: densidad 1600 arb.ha⁻¹. La pradera fue establecida en conjunto con un cultivo de trigo



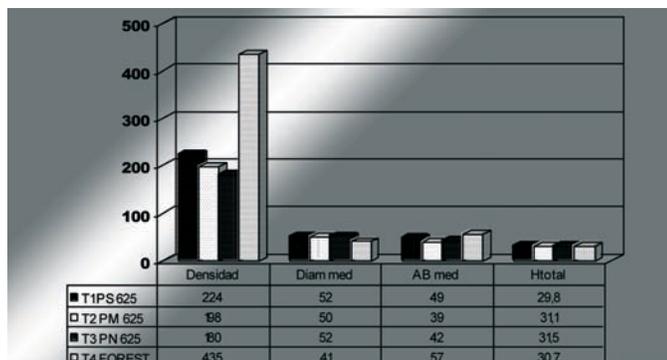
Figura N° 7
SISTEMA SILVOPASTORAL PINO RADIATA, 18 AÑOS, TANUME

Resultados y Discusión

Como se indica en la Figura N° 8, la evolución de los parámetros forestales al momento de la cosecha, es decir a los 24 años, siguen los principios tradicionales de una plantación establecida a bajas densidades versus a altas densidades. En relación al DAP, los mayores diámetros se obtuvieron en los sistemas silvopastorales con diámetros entre los 50 a 52 cm, versus 41 cm del sistema forestal. El área basal (AB), que es fuertemente influenciada por la densidad, obtuvo los mayores valores con el tratamiento forestal, seguida por T1, que dentro de los sistemas silvopastorales fue el que obtuvo la mayor densidad final con 224 arb ha⁻¹. La altura total, no fue influenciada por la densidad, lo cual indica que los tratamientos fueron instalados en una misma calidad de sitio.

En relación a la productividad del componente forestal, la calidad de los productos que se obtienen de un manejo forestal está directamente relacionada con el material genético utilizado, la calidad del sitio, el manejo, y las densidades utilizadas en la planificación del sistema productivo forestal. Como en este caso el material genético y calidad de plantas fue el mismo y el sitio es uniforme en el lugar, los resultados que se muestran en el Cuadro N° 7 son producto del manejo y de la estrategia o diseño utilizado para su establecimiento. La mayor productividad en términos de volumen total se obtuvo en el tratamiento forestal, con 479.5 m³.ha⁻¹, versus una productividad similar entre los tratamientos silvopastorales de 390 m³.ha⁻¹. La diferencia se produce en cuanto a la calidad de los productos obtenidos y a la distribución de estos productos en la producción total. Los productos podados, que son los que tienen un mayor precio, entregan entre un 37 a 38 % del volumen total en los tratamientos silvopastorales, versus solo un 3,1 % en el sistema forestal. En el sistema forestal el volumen mayor se concentra en P4 y P5, que son productos intermedios en cuanto al valor, lo cual incidirá en la rentabilidad del sistema.

Figura N°8
RESULTADOS PARÁMETROS FORESTALES A LOS 24 AÑOS



Cuadro N° 7
PRODUCCIÓN POR TIPO DE PRODUCTOS AL MOMENTO DE LA COSECHA

TRATAMIENTOS PRODUCTIVOS	CON BONIFICACION		SIN BONIFICACION	
	VAN (10%)	TIR (%)	VAN (10%)	TIR (%)
T1 Silvopastoral 625-Pradera sembrada	73,75	12,40	-10,82	9,70
T2 Silvopastoral 625-Pradera mejorada	148,38	16,20	52,81	11,50
T3 Silvopastoral 625- Pradera natural	141,94	16,16	44,33	11,28
T4 Testigo Forestal 1600	108,34	15,50	3,44	10,10
T5 Pradera sembrada	-180,59	Indet	-188,73	Indet
T6 Pradera mejorada	-49,26	Indet	-57,55	Indet
T7 Pradera natural	0,84	10,45	0,84	10,45

s/p: sin poda

Evaluación Económica

La evaluación económica de los tratamientos comparados toma en cuenta todos los ingresos, forestales y animales, basado parcialmente en antecedentes de Rodríguez (1998) y Sotomayor y Cabrera (2006), y los incentivos que entrega el Gobierno en base a bonificaciones a la forestación y a la recuperación de suelos, durante toda la rotación de los tratamientos. También toma en cuenta los costos de cada uno de los tratamientos evaluados.

Los resultados que se exponen en el Cuadro N° 8, indican que se obtienen los mejores resultados en aquellos tratamientos donde participa la componente forestal, de la especie *Pinus radiata*. Los mejores resultados en cuanto a VAN y TIR se encontraron en los dos tratamientos silvopastorales T2 y T3, y en el tratamiento forestal T4, sin diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, los que obtuvieron la menor rentabilidad fueron los tratamientos ganaderos con ovinos, y en especial aquellos donde participa la componente pradera sembrada, lo cual es similar en el caso silvopastoral. Esto se debe al alto costo de la fertilización que una pradera sembrada con trébol subterráneo y falaris requiere para su desarrollo.

Cuadro N° 8
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS TRATAMIENTOS COMPARADOS,
CON BONIFICACIÓN Y SIN BONIFICACIÓN FORESTAL

TRATAMIENTOS PRODUCTIVOS	CON BONIFICACION		SIN BONIFICACION	
	VAN (10%)	TIR (%)	VAN (10%)	TIR (%)
T1 Silvopastoral 625-Pradera sembrada	73,75	12,40	-10,82	9,70
T2 Silvopastoral 625-Pradera mejorada	148,38	16,20	52,81	11,50
T3 Silvopastoral 625- Pradera natural	141,94	16,16	44,33	11,28
T4 Testigo Forestal 1600	108,34	15,50	3,44	10,10
T5 Pradera sembrada	-180,59	Indet	-188,73	Indet
T6 Pradera mejorada	-49,26	Indet	-57,55	Indet
T7 Pradera natural	0,84	10,45	0,84	10,45

Conclusiones

Los resultados entregados en este estudio, arrojan interesantes resultados en cuanto a la evaluación económica de los tratamientos comparados. Los mejores resultados se obtuvieron cuando participa la componente forestal, con *Pinus radiata*, es decir sistema silvopastoral y forestal.

Los mejores resultados se obtuvieron en los sistemas silvopastoral con pradera natural manejada (TIR 16,2 %), silvopastoral con pradera natural (TIR 16,0 %), y forestal puro (TIR 15,5 %). Por el contrario, en todos los sistemas ganaderos las rentabilidades fueron negativas.

Los resultados indican que los sistemas silvopastorales son una alternativa para los pequeños propietarios de suelos de secano, dado que son los sistemas mejor evaluados en cuanto a rentabilidad y, además, desde el punto de vista social permiten:

A los propietarios obtener ingresos periódicos producto de cultivos anuales y de la producción animal, en este caso con ovinos, y un interesante ingreso al final de la rotación, por la venta de productos forestales de alta calidad por el manejo de los bosques. En especial en aquellas combinaciones con manejo forestal para madera de alta calidad.

Su aplicación abre la posibilidad de fomento a la forestación con fines diferentes a los que actualmente son incentivados por los programas de forestación del Gobierno, lo cual puede ser de mayor interés para los pequeños propietarios, dado que les permite mantener sus sistemas productivos, adaptándolos más fácilmente con un manejo forestal.

Mayor arraigamiento de los propietarios en sus tierras, evitando la migración a las ciudades, lo cual origina pobreza marginal y cambios de la cultura agrícola.

Beneficios ambientales por la introducción de pinos en los suelos de la cordillera de la

costa; formaciones graníticas susceptibles de erosión ante un mal manejo agrícola. Los árboles ayudan a recuperar suelos y a restaurar el ambiente degradado por más de un siglo de uso agropecuario eminentemente extractivo.

SISTEMA SILVOPASTORAL CON PINO CONTORTA

La principal fuente de ingresos de los pequeños y medianos propietarios silvoagropecuarios de la Región de Aysén, Chile, es la actividad ganadera extensiva, basada en terrenos cubiertos con praderas naturalizadas de regular a mala calidad, con una baja productividad para la producción de carne y/o lana, y con suelos erosionados producto del sobretalajeo y la baja protección con vegetación perenne sobre estos. Lo anterior debido a que es el único rubro que les permite ingresos anuales, tanto para la generación de ingresos para el autoconsumo familiar como para el manejo predial.

El mejoramiento de esta realidad en la Región de Aysén requiere innovar e incorporar tecnologías adecuadas en el uso de los recursos naturales, que permitan mejorar la eficiencia de producción de sus rubros tradicionales y que considere la sustentabilidad del sistema utilizado. Dentro de esta innovación e incorporación de tecnología, es posible la integración del rubro forestal y ganadero a través de sistemas silvopastorales dentro de un mismo espacio físico, potrero, o bajo un ordenamiento predial, que permita generar una simbiosis positiva, en la cual se vean beneficiados ambos rubros, forestal y pecuario.

Desde el punto de vista técnico, la incorporación de árboles en las unidades prediales destinadas a la ganadería, ordenados de acuerdo a algún diseño silvopastoral o de cortinas cortavientos, puede contribuir al mejoramiento de la productividad de los recursos agropecuarios, principalmente forraje y ganado bovino u ovino, dado el mejoramiento de las condiciones ambientales por la protección brindada por los árboles, expresadas en una disminución de la velocidad del viento, un aumento de la temperatura ambiental y del suelo, una disminución de la evapotranspiración y protección del suelo y del ganado, entre factores (Sotomayor *et al.*, 2004; Sotomayor, 1990; Quam & Johnson, 1999; RAN, 2008). Al mismo tiempo, los recursos forestales introducidos se verán beneficiados por la introducción del ganado en el sistema, a través del control de malezas, que pueden afectar el establecimiento y crecimiento de las plantas, en especial en los primeros años de crecimiento; disminución del riesgo de incendios forestales; así como también estarán beneficiados por la fertilización que reciban las praderas asociados a las plantaciones; y el mayor espacio dejado para el crecimiento de los árboles en un ordenamiento agroforestal.

Desde el punto de vista económico, los agricultores que incorporen estas tecnologías en sus predios pueden mejorar el flujo de caja anual por la venta de animales (carne y/o lana) y solventar los gastos propios del grupo familiar, como también del manejo de los árboles mientras estos maduran y entreguen productos (Sotomayor, 1990). De los recursos arbóreos establecidos podrán también obtener productos intermedios, como madera para postes, metros ruma o leña, producto del manejo de la plantación, y podrán obtener productos maderables de alta calidad (madera libre de nudos) al final de la rotación de la plantación forestal al haber manejado sus bosques.

Este sistema integrado de producción silvopastoral se caracteriza por su sustentabilidad,

ya que permite recuperar terrenos degradados, controlando procesos de erosión, protegiendo cursos de agua y mejorando la calidad de esta, aumentando la capacidad de captura del CO₂ atmosférico y generando un paisaje estéticamente más agradable y un aumento de la biodiversidad.

A continuación se exponen los principales resultados de un estudio realizado por el Instituto Forestal (INFOR) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) a partir del año 2003 (Sotomayor et al. 2008), con el objetivo general de incrementar la productividad de los predios de la Región de Aysén, mediante la innovación en el uso de los suelos y de las plantaciones con sistemas de manejo silvopastoral.

Antecedentes de Clima

El estudio se está desarrollando en el predio San Gabriel, ubicado en la Comuna de Coyhaique, Región de Aysén, Chile, sector Mano Negra, 28 km al norte de la ciudad de Coyhaique, de propiedad de don Víctor Mata, en la Zona Agroecológica Intermedia (Cuadro 9).

Las principales características climáticas de la Región de Aysén están dadas por un volumen de precipitaciones y por vientos de gran intensidad. Sin embargo, esto depende de la ubicación geográfica, existiendo una marcada gradiente geográfica transversal, de acuerdo a la cual la región se puede dividir básicamente en tres zonas agroecológicas (IREN, 1979):

Húmeda: Conformada por el sector de canales y fiordos, mientras que en su porción continental, corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera Patagónica.

Intermedia: Se extiende en sentido longitudinal entre Cisne Medio y la cuenca del Lago Cochrane, y desde la vertiente occidental de la Cordillera Andino Patagónica hacia el este, hasta confundirse gradualmente con la Zona de Estepa.

Estepa Fría: Ocupa los sectores adyacentes a la frontera argentina, caracterizada por sus cuencas y amplias mesetas.

Dentro de los fenómenos climáticos regionales, el viento es el que reviste mayor importancia. Según un estudio desarrollado por Mejías *et al.* (2001), en que analizan el efecto del viento en labores de labranza realizadas en primavera, se ha registrado una pérdida de suelo superior a las 15 t/ha, por acción eólica. Es importante señalar que el 20% de esta pérdida correspondería a la porción más fértil del suelo, incluyendo nutrientes (N, P, K y S) y materia orgánica.

Cuadro N° 9
PARÁMETROS CLIMÁTICOS DE LAS ZONAS AGROECOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE
AYSÉN

Parámetros	Zona Agroclimática		
	Húmeda ^a	Intermedia ^b	Estepa ^c
Superficie aproximada (Miles ha)	1.690	600	371
T° media (°C)	9.0	7.7	6.5
T° media mínima (°C)	5.7	3.9	2.2
Período libre heladas (días)	187	117	39
Viento fuerte (días)	>20 nudos	6	57
	>30 nudos	0	10
Precipitaciones (mm año ⁻¹)	2.000 - 4.000	500 - 1.500	400 - 700
Régimen hídrico	Superávit todo el año	Déficit estacional +	Déficit estacional ++
Suelo	Delgados Medianamente ácidos a ácidos Textura gruesa	Profundos Medianamente ácidos Livianos	Delgados Medianamente ácidos a neutro Textura gruesa

(Fuente: IREN, 1979). Localidad de referencia: ^a Pto. Aysén. ^b Coyhaique. ^c Balmaceda. + Prolongación.

La incidencia de vientos fuertes en la Zona Intermedia se produce principalmente entre los meses de diciembre y febrero. En la Zona de Estepa, esta situación es aún más adversa, produciéndose los vientos fuertes en más del 90% del año, concentrando su mayor intensidad entre los meses de diciembre y febrero.

Una consecuencia relevante de la presencia de este tipo de vientos, es la demanda de humedad del suelo; en las Zonas Intermedia y de Estepa sólo el 15% de las precipitaciones se produce entre los meses de diciembre y febrero, coincidiendo con la alta incidencia de vientos, y explicando los déficits estacional en los regímenes hídricos producidos en ambas zonas.

Material y Método

La especie forestal utilizada es *Pinus contorta*, la pradera es una pradera naturalizada y el ganado es vacuno de razas de carne puras e híbridos.

Para evaluar la factibilidad de la combinación silvopastoral en la Región de Aysén, este estudio consideró la implementación de módulos forestales y silvopastorales sobre plantaciones existentes y no manejadas de *Pinus contorta* de 12 años de edad, en la localidad de Villa Ortega, sector de Mano Negra, 28 km al norte de Coyhaique, con el objeto de evaluar y validar bajo las condiciones regionales, algunas alternativas de ordenamiento de las plantaciones y su manejo silvopastoral. Estos módulos se contrastan con un módulo ganadero, bajo un sistema de manejo ganadero tradicional.

Los tratamientos contemplados en los módulos instalados, su diseño y superficie, se describen en el Cuadro N° 10 y Figura N° 9.

**Cuadro N° 10
TRATAMIENTOS EVALUADOS**

Tratamiento	Descripción de Tratamientos	Superficie Total (ha)	Superficie Efectiva Pradera (ha)**
T1	Forestal Manejado, 800 arb ha ⁻¹	0,5	--
T2	Silvopastoral Tradicional con pradera natural, 400 arb ha ⁻¹ (Figura N° 9 a)	5,3	3,99
T3	Silvopastoral en Fajas con pradera natural, 400 arb ha ⁻¹ (Figura N° 9 b)	5,5	4,36
T4	Ganadería Tradicional con pradera natural, sin árboles.	4,3	4,30

** : La superficie efectiva de pradera se calculó descontando el área cubierta por desechos de poda y raleo ordenados en fajas.



(a)



(b)

Figura N° 9

DISEÑO SILVOPASTORAL TRADICIONAL, 400 arb ha⁻¹ (a) Y DISEÑO SILVOPASTORAL ORDENACIÓN EN FAJAS ALTERNAS, 400 arb ha⁻¹ (b), COYHAIQUE, CHILE.

Resultados

Los resultados de la evaluación de cada uno de los factores productivos se exponen a continuación:

- Productividad y Evolución de la Pradera

Los resultados de la productividad de la pradera, en materia seca por hectárea, se presentan en el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11
PRODUCCIÓN PRADERA TEMPORADA 2004-2005 A 2007-2008

Tratamiento	Producción Pradera (kg MS ha ⁻¹)		
	2004-2005	2005-2006	2006-2007
T1: Silvopastoral Tradicional	1485,7 ^b	6109,7 ^a	4153,2 ^b
T2: Silvopastoral en Fajas	2684,9 ^a	7181,6 ^a	6394,5 ^a
T3: Ganadero Puro	2452,1 ^a	3832,0 ^b	3874,1 ^b

Letras diferentes indican diferencias significativas

Se destaca que para todas las fechas evaluadas, en las tres temporadas de evaluación, la producción de la pradera en materia seca por hectárea en el sistema silvopastoral en fajas ha sido la que alcanzó las mayores producciones. El sistema silvopastoral tradicional ha evolucionado positivamente en la segunda y tercera temporada, por sobre el sistema ganadero, debido a un mayor tiempo para el desarrollo de la pradera después de la apertura del dosel superior. Finalmente, en sistema ganadero puro se ha dado el menor desarrollo, muy probablemente por el mal manejo anterior y el efecto del viento que impide el normal desarrollo de la pradera. Estos resultados muestran una tendencia positiva en el desarrollo de la pradera al comparar los sistemas silvopastorales sobre el ganadero puro.

- Productividad y Evolución de la Productividad Animal

A continuación se expone los resultados de las tres temporadas de medición entre marzo 2005 a mayo del 2007.

Cuadro N° 12
PRODUCCIÓN DE CARNE POR HECTÁREA Y TRATAMIENTO 2004-2007

Tratamiento	Ganancia en Carne por Hectárea Efectiva de Pradera (kg ha ⁻¹)		
	2004-2005	2005-2006	2006-2007
T1: Silvopastoral Tradicional	113,8 ^a	238,6 ^a	305,8 ^a
T2: Silvopastoral en Fajas	110,2 ^a	255,7 ^a	317,8 ^a
T3: Ganadero Puro	107,0 ^a	244,9 ^a	348,4 ^a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas.

La producción total en carne, por hectárea y por tratamiento, en las tres temporadas evaluadas, si bien es levemente superior en el sistema ganadero, no existen diferencias significativas los tratamientos.

- Productividad y Evolución de los Parámetros Forestales

Con relación al Diámetro Altura del Pecho (DAP), la evolución del diámetro en los tratamientos con presencia de árboles se observa en el Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13
DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP) PERIODO 2004-2007

Tratamiento	DAP (cm)			
	2004	2005	2006	2007
T1: Forest. Manejado	12,72 ^a	13,55 ^a	14,77 ^b	16,00 ^b
T2: Silvop. Tradicional	12,90 ^a	14,21 ^a	15,96 ^a	17,76 ^a
T3: Silvop. Fajas	12,98 ^a	14,10 ^a	15,60 ^a	17,05 ^a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas.

Se puede observar claramente la diferencia de diámetros a la altura del pecho, entre los distintos sistemas forestales ensayados en este proyecto. Al inicio del ensayo en el año 2004 los tratamientos tenían un DAP medio en torno a los 13 cm, pero luego de tres temporadas de crecimiento se evidencia la diferencia por efecto de la densidad entre los sistemas, lo que repercute en aumento de los diámetros en los sistemas con menos árboles por hectárea, es decir los sistemas silvopastorales, con una leve superioridad en el sistema silvopastoral tradicional, 17,76 cm, por tener una menor competencia individual por árbol, en comparación con el sistema en fajas, donde los árboles están concentrados en un menor espacio de crecimiento.

En relación al Área Basal, en el Cuadro N° 14 se puede observar su evolución como indicador de ocupación del sitio en los diferentes tratamientos. Está influenciada por el número de árboles de los tratamientos, 400 arb ha⁻¹ para los tratamientos silvopastorales y 800 arb ha⁻¹ en el tratamiento con manejo forestal, con un mayor valor para el tratamiento forestal. Este parámetro ha tenido un fuerte incremento en los tres tratamientos, aunque con un mayor incremento en los tratamientos silvopastorales, entre un 80 a 90%. Esto indica que en todos los tratamientos o densidades arbóreas existe aún un potencial de crecimiento y que la competencia entre los individuos aún no es muy alta. Con los años se debería esperar que el tratamiento forestal, con más árboles por hectárea, sea el primero en disminuir su crecimiento, por una mayor ocupación del sitio y competencia entre los árboles.

Cuadro N° 14
ÁREA BASAL PERIODO 2004 - 2007

Tratamiento	AB (m ² ha ⁻¹)				Incremento AB (%) 2004-2008
	2004	2005	2006	2007	
T1: Forest. Manejado.	10,55 ^a	11,96 ^a	14,20 ^a	16,64 ^a	57,7
T2: Silvop. Tradicional	4,79 ^b	5,81 ^b	7,32 ^b	9,08 ^b	89,5
T3: Silvop. Fajas	5,44 ^b	6,40 ^b	8,31 ^b	9,88 ^b	81,7

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas.

En el caso de la Altura Total (H), dado que los ensayos han sido instalados en un sitio similar, no se observaron diferencias significativas de la altura entre los tratamientos, mostrándose una evolución natural de esta variable en el ensayo (Figura N° 10).

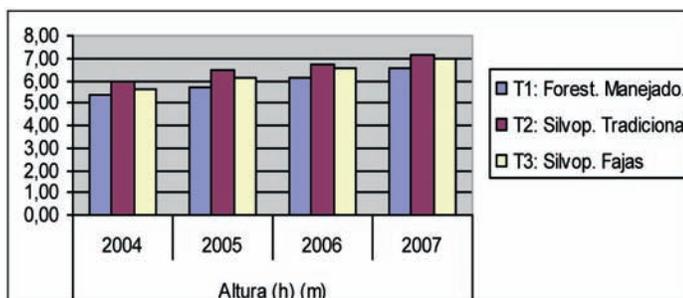


Figura N° 10
ALTURA DE LOS ÁRBOLES EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS
PREDIO SAN GABRIEL, PERIODO 2004-2007.

La cobertura de copa, medida como la proyección de la copa de los árboles sobre el suelo, es una buena variable para relacionar la competencia entre los árboles y la producción de la pradera. En este caso, se observa en el Cuadro N° 15, que tanto el sistema forestal manejado como el silvopastoral tradicional han expandido sus copas en forma bastante agresiva, dado que los árboles han tenido suficiente espacio para desarrollar su área foliar. Por el contrario, el sistema en fajas, al estar sus árboles creciendo en un menor espacio y compitiendo fuertemente entre ellos, sus copas se han desarrollado en menor forma.

Cuadro N° 15
Cobertura de copa periodo 2004-2007

Tratamiento	Cobertura Copa (%)			Incremento (%)
	2004	2006	2007	2004-2007(%)
T1: Forest. Manejado	26,91 ^a	35,96 ^a	55,13 ^a	104,87
T2: Silvop Tradicional	14,54 ^b	21,74 ^b	28,25 ^b	94,28
T3: Silvop Fajas	24,19 ^a	27,10 ^b	28,88 ^b	19,42

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas.

Discusión de los Resultados

Respecto de la producción de la pradera y producción animal, de acuerdo a los resultados obtenidos en las tres primeras temporadas de evaluación, se ha visto un interesante desarrollo del componente herbáceo en los sistemas con densidades silvopastorales. La producción de la pradera, durante la última temporada, en el tratamiento silvopastoral en fajas fue 2.520,4 kg MS/ha más alto que el ganadero puro (65 %) y 2.241,3 kg MS/ha más alto que el silvopastoral tradicional (53 %).

Estos resultados pueden deberse a los beneficios que otorga el componente forestal sobre el entorno que lo rodea, al modificar los factores climáticos; disminuyendo el viento, aumentando la temperatura del suelo y la ambiental y manteniendo una mayor humedad relativa, entre otros factores. Este resultado de la producción pratense, si bien está relacionado con los resultados obtenidos en la producción animal, no muestra una tendencia tan clara al respecto. La ganancia total en las tres temporadas fue superior en el sistema ganadero (Cuadro N° 12), pero sin una diferencia significativa, mostrando una tendencia similar en los tres tratamientos. La explicación estaría dada por tres razones:

La productividad de la pradera, medida a través de la producción de kg de materia seca en las jaulas de exclusión y proyectada a la hectárea, indica la productividad teórica del sitio y puede no reflejar fielmente el potencial de producción de la pradera en los distintos tratamientos, producto de la mayor presencia de desechos y árboles en los sistemas silvopastorales.

Una pradera que debe desarrollarse y evolucionar dentro de un sector que estuvo ocupado por una plantación de alta densidad de pinos de 12 años de edad, con más de 90% de cobertura de copa, presenta una mayor heterogeneidad, producto del efecto ejercido por los árboles antes del manejo (poda y raleo), como también del efecto de los árboles que permanecen dentro del sistema después del manejo. Esto hace difícil interpretar y extrapolar en forma adecuada los resultados obtenidos en las jaulas de exclusión a la productividad total del área de tratamiento, debido a la existencia de muchas condiciones distintas que existen dentro de toda la superficie, situación que no se da tan marcadamente, en una superficie que históricamente ha estado ocupada sólo por pradera (sistema ganadero puro).

Aunque exista una disponibilidad teórica de mayor forraje en los sistemas silvopastorales, esta puede no estar disponible para los animales, producto de la mayor presencia de desechos productos de la poda y el raleo, y por la presencia de árboles en el sistema, lo cual hace más difícil para los animales el tenerla a disposición.

Otro factor interesante de evaluar es el beneficio directo que tienen los árboles sobre los animales, al otorgarle protección ante bajas y altas temperaturas, y excesivo viento, los que les permite utilizar menos energía para regular su temperatura corporal, lo cual coincide por lo expuesto por Polla (1998), Anderson *et al.* (1988), y Sotomayor (1990).

En cuanto a la componente forestal, el efecto de un manejo forestal con fines silvopastorales tiene un importante efecto sobre las variables forestales. Por una parte, al disminuir la densidad inicial desde 1.514 a 800 árboles por hectárea en el forestal manejado, y 400 árboles aproximadamente en los diseños silvopastorales, se reduce fuertemente el Área Basal, pero se aumenta el crecimiento en diámetro de los árboles y la producción de la pradera, coincidiendo con lo expuesto por Polla (1998) y Sotomayor (1990). Es decir, se tienen menos árboles pero con un mayor diámetro, lo cual originará en el futuro árboles de mayores dimensiones, obteniéndose una mayor productividad en madera aserrada, o trozos para ser destinados a producción de tableros, por árbol, pero una menor producción de volumen total por hectárea.

Por otra parte, los tratamientos con una mayor densidad generan un mayor volumen de madera sólida, por lo que estos tratamientos están orientados a producción de biomasa maderera. El sistema forestal manejado, obtendrá un interesante volumen de madera libre de defectos y una mayor proporción de madera con usos industriales de baja calidad, como madera pulpable, leña o postes. Con respecto a la evolución de la copa, se ha visto un fuerte incremento en el tratamiento con mayor número de árboles, forestal manejado, y el silvopastoral tradicional, ya que ambos hasta ahora han tenido suficiente espacio para desarrollarse. Esto debe relacionarse con la producción de la pradera, ya que a un mayor tamaño de copa, existirá una mayor intercepción de la luz, lo cual hará disminuir la producción de la pradera.

Conclusiones

Después de cuatro años de evaluación y con tres temporadas de mediciones, se observan interesantes resultados que indican la real posibilidad de utilizar sistemas silvopastorales como alternativa productiva y económica para los productores silvoagropecuarios de la Patagonia Chilena, lo cual coincide con los estudios entregados por Universidad Austral de Chile (1988) y Herve et al. (1990).

Estos sistemas, como indican los resultados obtenidos, pueden entregar a los productores:

Producción ganadera: Utilizando el crecimiento de la pradera que crece entre los espacios intercalares o bajo el dosel protector de los sistemas silvopastorales. Esto les permite a los productores obtener anualmente los ingresos necesarios para su grupo familiar.

Producción forestal: La introducción de los árboles en el sistema ganadero tradicional, transformándolo en un sistema silvopastoral, les permite a los propietarios tener otra alternativa productiva, posibilitando una diversificación de la producción predial. A través del manejo se puede obtener madera de dimensiones bajas, para productos como leña, postes, metro ruma y trozos para madera aserrada de dimensiones pequeñas durante el primer sexto de la rotación. Al final de la rotación se obtendrá madera producto de la cosecha, con dimensiones de trozos mayores para productos más nobles como madera aserrada, tablero u otros.

Beneficios ambientales: Junto con el beneficio que se le otorga a la pradera y a los animales, la integración de los árboles también permite mejorar los aspectos ambientales, como reducción de la erosión de los suelos, protección de cursos de aguas, mejoramiento de las condiciones para la vida silvestre presente en la zona y restauración del paisaje afectado por más de 100 años de colonización.

Producción integrada: Como se observa en los resultados del periodo de evaluación 2004-2007, los sistemas silvopastorales han obtenido ganancias similares en producción de carne, pero adicionalmente obtienen ingresos por madera, lo cual mejora la productividad por unidad de superficie.

CONCLUSIONES GENERALES PROGRAMA AGROFORESTAL EN CHILE

El Ministerio de Agricultura de Chile, a través del Instituto Forestal (INFOR), ha desarrollado un Programa de Desarrollo Agroforestal para fomentar la adopción de estas alternativas como una práctica sustentable en predios agrícolas, especialmente en la pequeña propiedad agrícola, y principalmente desde la zona central de Chile (Región de O'Higgins) hasta la Patagonia (Región de Aysén). Durante el periodo del programa se establecieron modelos agroforestales en un total de 558 ha (Cuadro N° 16).

Cuadro N° 16
MODELOS AGROFORESTALES ESTABLECIDOS POR EL PROGRAMA

Modelo Agroforestal	Año (ha)			Total (ha)
	2006	2007	2008	
Silvoagrícola	6,7	26,3	10,0	43,0
Silvopastoral	162,2	112,5	66,6	341,3
Cortinas Cortavientos	12,5	97,7	35,0	145,2
Recuperación Riberas		3,5	10,0	13,5
Dendroenergía		10,0	5,0	15,0
TOTAL	181,4	250,0	126,6	558,0

Los pequeños propietarios participantes en el proyecto, estuvieron dispuestos a establecer árboles en sus terrenos en alguna forma de arreglo agroforestal, con un promedio de 1,4 ha por propiedad rural, dado que esta alternativa fue menos invasiva y mas cercana a sus tradiciones agrícolas que una forestación tradicional, lo que les permite seguir estableciendo cultivos y criando animales, lo cual a su vez les permite continuar viviendo en sus predios y obtener ingresos y alimentos para su grupo familiar.

El sistema más aceptado fue el silvopastoral, con una superficie establecida de 341,3 ha equivalente a un 61,16% del total establecido por el programa, principalmente porque los terrenos factibles de establecer árboles en las propiedades rurales de trabajo son situaciones de laderas, sin riego, donde tradicionalmente han manejado praderas naturales de bajo valor productivo, por lo cual es mas fácil transformarlo a una producción silvopastoral. Otro modelo interesante para áreas de cultivos agrícolas, con terrenos más productivos, es el uso de cortinas cortavientos, dado que estos productores reconocen su importancia en el aumento de la productividad de sus cultivos y ganadería.

De los resultados obtenidos en 4 temporadas de trabajo, se puede indicar que los modelos agroforestales, al ofrecer una nueva forma de producción predial integral, representan una interesante alternativa para incentivar a los propietarios de campos agrícolas y ganaderos, y a dueños de plantaciones forestales, a desarrollar estos sistemas mixtos que permiten:

Obtención de ingresos en el corto plazo a través de los animales o cultivos agrícolas.

Valorización de los predios con la incorporación de árboles.

Recuperación de terrenos degradados, control de la erosión y protección de cuencas.

Obtención de ingresos por productos madereros y no madereros en el mediano plazo, a través de raleos comerciales o utilización directa de productos provenientes del árbol.

Mayor producción de las praderas o cultivos intercalados por efecto de las estructuras arbóreas, como cortinas, que disminuyen la evapotranspiración de los vegetales.

Producción de productos forestales no madereros como miel, frutos y otros.

Protección del ganado en los meses invernales (galpones biológicos), lo que aumenta el porcentaje de pariciones y la sanidad animal.

Mejor calidad de la madera, por proceder de bosques manejados.

Paisaje estéticamente más agradable y aumento de la vida silvestre.

REFERENCIAS

Anderson, G.W., Moore, R.W. and Jenkins, P.J., 1988. The Integration of Pasture, Livestock and Widely-Spaced Pine in South West Western Australia. *Agroforestry Systems*, 6: 195-211.

Castillo H, Olivares A, Polzenius G. 1988. Modificaciones de las Características Microambientales Provocadas por la Presencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. Influencia en el Microambiente. *Avances en Producción Animal*, 13:31-40, Santiago, Chile.

FAO, 1981. *Prosopis tamarugo*: Arbusto Forrajero para Zonas Áridas. Oficina Regional de la FAO para América Latina, Santiago, Chile. 143p.

FAO, 1985. Estado Actual del Conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Dirección de Producción y Protección Vegetal, Santiago, Chile. 483p.

FAO, 2008. Especies Arbóreas y Arbustivas para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina: *Acacia caven*. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

Hervé, M., Balocchi, O., Peñaloza, R., 1990. Silvopastoral Sheep and Pine Systems for Small Farmers in Southern Chile. *Animal Production*. 50(3):192.

INFOR, 2000. Tagasaste, Opción Productiva en Sistemas Silvopastorales para el Secano de la VI, VII y VIII Regiones. Documento de Divulgación N° 21. Instituto Forestal, Santiago, Chile. 12p.

INIA, 2001. Mejoramiento de la Rentabilidad del Álamo a través de Cultivos Asociados. Boletín INIA N° 64, Santiago, Chile. 189 p.

IREN, 1979. Instituto de Recursos Naturales. Caracterización Climática. Perspectivas de Desarrollo de los Recursos de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Intendencia Región de Aysén, Coyhaique, Chile.

Leslie, B., Knowles, R., Moore, R., 1998. Silvopastoreo con *Pinus radiata* en Zonas Frías. In: Compilación de Resultados en Diversos Ensayos de Modelos Silvopastorales en Chile y en el Extranjero. En el Primer Taller de Manejo Silvícola. Fundación Chile. Santiago, Chile.

Mejias, J., 2001. Estimación de las Pérdidas de Suelo en Sistemas de Labranza Tradicional en la Zona Intermedia de Aysén. In: Explotación Conservacionista de Suelos en Aysén. (Ed.) Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Tamei Aike. Informe Final. Coyhaique (Chile). 5-15 p

Meneses, R y Squella, F., 1996. Los Arbustos Forrajeros. In: Ruiz, I. ed. 2da ed. Praderas para Chile. Santiago, INIA. pp 149-170.

Olivares, A., 2006. Relaciones entre el Estrato Arbóreo, el Estrato Herbáceo y la Conducta Animal en el Matorral de *Acacia caven* (espinal). Science et Changements planétaires/ Sécheresse. Volumen 17, Number 1, 333-9, Janvier-Juin, 2006, Article Scientifique.

Ovalle, C., Avendaño, J., 1984. Utilización Silvopastoral del Espinal. Influencia del Espino, *Acacia caven* (Mol.), sobre la Productividad de la Pradera Natural. Agricultura Técnica, 44:339-345. Santiago, Chile.

Ovalle, C., J. Aronson, H. Alvarez, y J. Avendaño., 1993. Alfalfa Arbórea o Tagasaste (*Chamaecytisus proliferus* subsp. *palmensis*), un Árbol Forrajero Leguminoso con Potencial para Sistemas Agrosilvopastorales en Chile Mediterráneo. Agricultura Técnica. (Chile) 53:264-271.

Oyarzun, S., 1967. Algunas Variaciones Lanométricas con Ovejas Merino Encastadas en dos Épocas Diferentes. Canchones. Pampa del Tamarugal. Tesis de Grado. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile.

Polla, C., 1998. Estrategias de Acción en el Tema Silvopastoreo. In: Actas Seminario "Manejo Silvopastoral" Trabajo N°8, Young. Uruguay.

Quam, V and Johnson, I., 1999. Windbreaks for Livestock Operations. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X. Recuperado el 31 de Enero de 2002 de World Wide Web: <http://www.lanr.unl.edu/pubs/forestry/ec1766.htm>.

RAN, 2008. Red Agroforestal Nacional, Publicaciones, Cartillas Agroforestales, INFOR, Concepcion, Chile. www.agroforesteria.cl

Rodriguez, M., 1998. Evaluación Económica del Sistema Silvopastoral Pino/Oveja Presente en el Centro Experimental Forestal Tanumé CONAF, VI Región. Memoria Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Santibañez, F. y Uribe, J.M., 1993. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones VI y VII. Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agrarias y Forestales, Lab. de Agroclimatología. Santiago, Chile. 66 p.

Sotomayor A., Garcia E., Gonzalez, M., 2008. Modelos Agroforestales, Sistema Productivo Integrado para una Agricultura Sustentable. Instituto Forestal, Concepción, Chile. 24p.

Sotomayor, A., 1990a. Sistemas Silvopastorales y su Manejo. Chile Agrícola 157 pp 203 206.

Sotomayor, A. 1990. Bosques y Forrajeras pueden Complementarse (II Parte). Chile Agrícola 158:242-248. (No está citado)

Sotomayor, A. y Cabrera, C., 2006. Análisis de un Sistema Silvopastoral con *Pinus radiata* D. Don, Asociado con Ganado Ovino en la Zona Mediterránea Costera Central de Chile. En: 3^{er} Congreso de Ciencias Forestales, organizado por la Sociedad de Ciencias Forestales de Chile. Concepción, Chile.

Sotomayor, A., Moya, I. y Teuber, O., 2008. Uso de Sistemas Silvopastorales con *Pinus contorta* (Dougl. ex Loud.), una Realidad Económica para la Patagonia Chilena. En: 4^{to} Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, 1 al 3 de Octubre de 2008. Editores Dr. Mauricio Ponce Donoso, M.Sc. Marcia Vázquez Sandoval, Talca, Chile.

Universidad Austral de Chile, 1988. Uso Silvopastoral en las Áreas Marginales de la X Región. Valdivia, Chile. 300p.

MODELO ESTÁTICO DEL MOMENTO VOLCANTE Y POTENCIAL FRACTURA EN UN ÁRBOL

Walter Bussenius Cortada¹, Abraham Farias Flores², Oscar Bustos Letelier³

RESUMEN

El presente trabajo corresponde a un modelo estático que analiza el comportamiento de un árbol ante la fuerza ejercida por el viento sobre éste. Para el establecimiento del modelo se asumió una determinada variación de la velocidad del viento con respecto a diferentes alturas en el árbol, y en particular para el follaje y el tronco del árbol. De esta manera se estudió la distribución de fuerzas sobre el follaje, el momento flector, y el esfuerzo de corte, estimando de esta manera la zona de más probable fractura en el árbol. Se empleó para ello un modelo de follaje y de fuste de forma cónica y una fuerza del viento proporcional al cuadrado de la velocidad de éste y creciente con la altura en una forma de proporcionalidad directa. De acuerdo con el modelo obtenido, la zona más probable de fractura estaría ubicada en la mitad superior del árbol.

Palabras clave: Modelación, daño por viento

SUMMARY

The present paper analyzes a static model of tree behavior due to the effect of wind force. It is assumed a determined wind speed variation with the height and a specific for foliage and stem. The forces distribution over the foliage, the flexor moment, and the cutting stress were studied, estimating the more likely fracture zone. Thus, a conic shape foliage model was used and a wind force proportional to the speed squared of it and increasingly with the height in a direct proportionality. Findings showed the model obtained indicated that the fracture zone would be in upper half of tree.

Key words. Modeling, wind damage

1-Instituto de Física y Matemáticas, Universidad de Talca, Chile. Email: wbussen@utalca.cl

2-Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca, Chile. Email: afarias@utalca.cl

3-Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile. Email: obustos@utalca.cl

INTRODUCCIÓN

Las fuertes ráfagas de viento con prolongadas duración que ocurren durante muchas tormentas en la zona sur de Chile, como en la precordillera de la zona central, han tenido como consecuencia, entre otras, la fractura de muchos árboles tanto a edad temprana como adulta, y que conlleva serios problemas económicos. El efecto del viento sobre los árboles y su mayor o menor cantidad de daños, dependerá de variables tales como especie, tipo de suelo, y humedad del suelo (Day 1950, Fraser 1962, y Alexander 1967), factores geográficos (Fraser y Gardiner 1967), condiciones climáticas locales y el tipo de intervenciones intermedias realizadas.

En este trabajo se presenta un modelo simple caracterizado por un análisis estático del árbol y el efecto que causa la fuerza del viento sobre éste. Para ello se utilizó un modelo geométrico en forma de cono que caracterizó al fuste y el follaje, y se consideró parte del fuste sin ramas, producto de las podas realizadas durante el manejo. De esta manera se determinó el lugar del árbol con mayor vulnerabilidad a la acción del viento.

METODOLOGÍA

Desarrollo del Modelo

El modelo consideró la forma geométrica de cono para el árbol para el follaje y el fuste. Para el caso de la figura de cono que representó al fuste, se le efectuó un pequeño "corte" en el ápice, de modo de describir de mejor manera la función matemática que lo define. El área de influencia del viento sobre el cono que corresponde al follaje, resulta ser un triángulo, el cual parte con el vértice en el ápice y tiene como base la altura de la última poda efectuada.

Para modelar el estado de cargas, se consideró la velocidad del viento como máxima en la copa del árbol ($v = v_0$) y nula en la base del suelo ($v = 0$). Debido a que el efecto del viento sobre un área determinada del follaje ejerce una fuerza, esta fue considerada proporcional al cuadrado de la velocidad del viento (Day 1950).

Para determinar los efectos del estado de carga sobre el árbol, se consideró teóricamente al árbol como una viga empotrada al piso, de manera de determinar los esfuerzos de corte y el momento flector que se producen a lo largo de una viga de una sección circular variable. Así, el momento de inercia variable, sometido a un sistema de carga distribuida, se definió en base a una función matemática que describió la fuerza del viento. La Figura N° 1 muestra el modelo y las variables involucradas para el follaje y el viento.

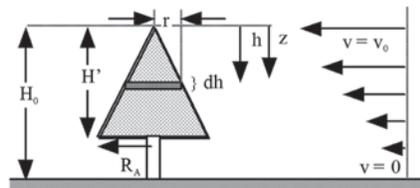


Figura N° 1
MODELO Y VARIABLES INVOLUCRADAS

Donde:

Ho:	Altura total del árbol	
H':	Altura del follaje	
Ro:	Radio de la base del follaje	
r:	Radio del follaje a una altura h	
h:	Distancia del ápice a un punto	cualquiera
vo:	Velocidad máxima en el ápice	
z =	h/Ho	

Nota: Las variables de altura se midieron desde el ápice a la base del árbol.

Un desglose de cada parte del modelo se llevó a efecto con el objeto de mostrar las relaciones existentes entre las variables con los resultados predictores.

Análisis del Follaje

La fuerza que ejerce el viento sobre un árbol en pie corresponde a la presión de éste por el área del follaje. Para ello, se utilizó un modelo en que el follaje fue equivalente a un triángulo isósceles, de altura H' y base 2Ro. Así el radio R del follaje en función de altura h quedó establecido por:

$$r(h) = Ro \frac{h}{H'} \quad 0 < h < H' \quad (1)$$

$$\text{donde:} \quad r(h) = 0 \quad H' < h < Ho$$

Análisis del Velocidad del Viento

Se supuso una velocidad del viento ($v(h)$) en función a distintas alturas del árbol, siendo v_o la altura del ápice y cero a nivel del suelo (Cendoya et al. 2002). Al suponer esto, la velocidad en función de la altura quedó establecida como:

$$v(h) = v_o (1 - h/H_o)$$

Donde Ho: altura total del árbol
 A: nivel suelo se tuvo que $h = H_o$ y en donde la velocidad del viento es nula,
 mientras que a nivel del ápice ($h = 0$), la velocidad del viento es v_o .

Distribución de la Fuerza Ejercida por el Viento

Se establecieron coordenadas a nivel del ápice desde donde se midieron las distintas alturas en el árbol.

La fuerza ejercida sobre una diferencial de área (dF), fue expresada como:

$$dF = P \, dA \quad (2)$$

pero $dA = 2 R dh$. Además se consideró que la presión ejercida por el viento fué proporcional al cuadrado de la velocidad ($P = cte v^2$) (Cendoya et al. 2004).

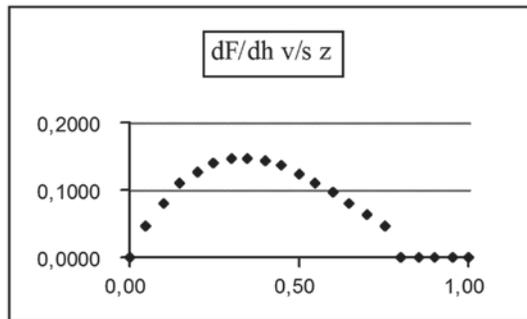
Matemáticamente esto se puede escribir de la forma:

$$dF = cte vo^2 (1 - h/Ho)^2 2 R(h) dh \quad (3)$$

Definiendo ahora $z = h/Ho$ puede expresarse la fuerza en términos de esta nueva variable, la que toma valores entre 0 y 1. Llámese p a la intensidad de la carga, es decir, la fuerza por unidad de longitud ($p = dF/dh$) se tiene:

$$\begin{aligned} p = dF/dh &= cte 2 Ro vo^2 Ho/H' z (1 - z)^2 & 0 < z < H'/Ho \\ p = 0 & & H'/Ho < z < 1 \end{aligned} \quad (4)$$

La Figura N° 2 muestra la intensidad de carga (fuerza por unidad de longitud) en función de la altura medida según la variable z antes mencionada.



$Ho = 25 (m)$ $H' = 20 (m)$ $Ro = 3,0 (m)$

Figura N° 2
INTENSIDAD DE CARGA VS. ALTURA

Esfuerzo de Corte

Sea Q el esfuerzo de corte, éste se definió mediante:

$$Q = \int dQ = - \int p(h) dh = - Ho \int p(z) dz \quad (5)$$

Cálculo de Q para el tramo $0 < z < H'/Ho$

$$Q = - Ho \int_0^{H'/Ho} p(z) dz = cte 2 Ro vo^2 Ho^2/H' [z^2/2 (1-4 z/3+z^2/2)] \quad (6)$$

Cálculo de Q para el tramo $H'/Ho < z < 1$

$$Q = - Ho \int_{H'/Ho}^1 p(z) dz = cte 2 Ro vo^2 Ho^2/H' [H'^2/(2Ho^2) z^2/2 (1-4 H'/3Ho+H'^2/2Ho^2)] \quad (7)$$

La Figura N° 3 muestra el esfuerzo de corte en función de la altura

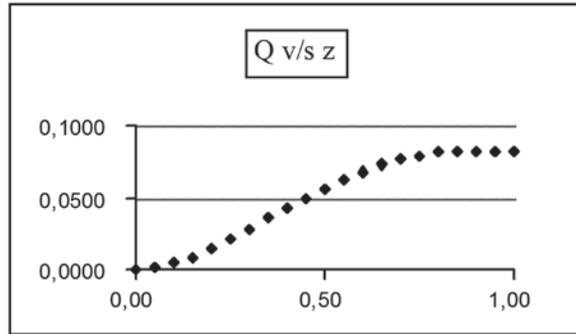


Figura N° 3
ESFUERZO DE CORTE VS. ALTURA

Momento Flector sobre el Fuste

El momento flector (M) se relacionó con el esfuerzo de corte, mediante:

$$M = \int dM = \int Q dh = Ho \int Q(z) dz \tag{8}$$

Cálculo de M para el tramo $0 < z < H'/Ho$

$$M = - Ho \int_0^z Q(z) dz = cte 2 Ro vo^2 Ho^3/H' [z^3/3 (1 - z + 3 z^2/10)] \tag{9}$$

Cálculo de M para el tramo $H'/Ho < z < 1$

$$M = - Ho \int_{H'/Ho}^z p(z) dz = cte 2 Ro vo^2 Ho^3/H' \{ [(H'/Ho)^3 /6] (1 - H'/Ho + 3(H'/Ho)^2 /10) + [(H'/Ho)^2 /2 (1 - 4H'/3Ho + (H'/Ho)^2 /2)] (z - H'/Ho) \} \tag{10}$$

La Figura N° 4 muestra el momento flector en función de la altura.

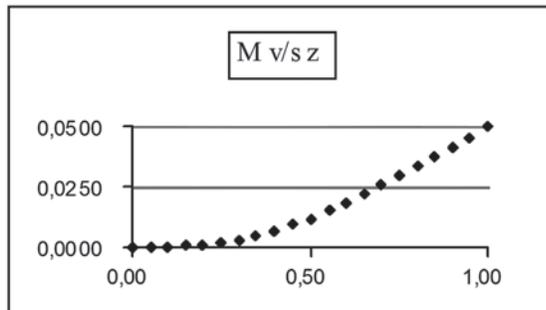


Figura N° 4
MOMENTO FLECTOR VS. ALTURA

Esfuerzo Máximo por Flexión (σ)

El esfuerzo por flexión (σ) se relacionó con el momento flector, mediante:

$$\sigma = M Y / I \quad (11)$$

Donde, Y corresponde a la distancia desde el extremo al centro, en nuestro caso $Y = \rho$ en que ρ es el radio del tronco; I corresponde al momento de inercia, el cual para la sección del tronco viene dado por:

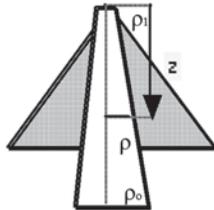
$$I = \pi \rho^4 / 4 \quad (12)$$

A su vez el radio del tronco ρ y la variable $z (= h/Ho)$ se relacionan mediante:

$$\rho = [(\rho_0 - \rho_1)/Ho] Ho z + \rho_1 \quad (13)$$

Donde ρ_0 es el radio del tronco a nivel del suelo y ρ_1 el radio del mismo en el ápice, ya que no puede ser nulo (Fig. 5).

La Figura N° 5 muestra las variables y parámetros involucrados para el fuste



ρ_0 : radio del fuste en la base del él.
 ρ_1 : radio del fuste en el ápice.

ρ : radio del fuste en una posición z.
 $z = h/Ho$

Figura N° 5
VARIAIBLES Y PARÁMETROS FUSTE

Al reemplazar las expresiones para Y y para I en función de la variable z se tiene:

$$\sigma = M Y / I = M(z) \rho / (\pi \rho^4 / 4) = M(z) (4/\pi) Ho^3 / [(\rho_0 - \rho_1) z + \rho_1]^3 \quad (14)$$

reemplazando ahora el valor antes obtenido para M(z) en cada tramo se llega a:

Cálculo de σ para el tramo $0 < z < H'/Ho$

$$\sigma = cte 2 Ro vo^2 (Ho^3/H') 4 Ho^3 / \pi [z^3/3 (1 - z + 3 z^2/10)] / [(\rho_0 - \rho_1) z + \rho_1]^3 \quad (15)$$

Cálculo de σ para el tramo $H'/H_o < z < 1$

$$\sigma = \text{cte } 2 R_o v_o^2 (H_o^3/H') - 4 H_o^3 / \pi \left\{ \left[\frac{(H'/H_o)^3}{6} (1 - H'/H_o + 3(H'/H_o)^2 / 10) \right] + \left[\frac{(H'/H_o)^2}{2} (1 - 4H'/3H_o + (H'/H_o)^2 / 2) \right] (z - H'/H_o) \right\} / [(\rho_o - \rho_1) z + \rho_1]^3 \quad (16)$$

Para este gráfico se utilizaron los mismos valores anteriores y se agregaron:

$r_o = 0.15$ (m) y $r_1 = 0.01$ (m)

La Figura N° 6 muestra el esfuerzo por flexión en función de la altura.

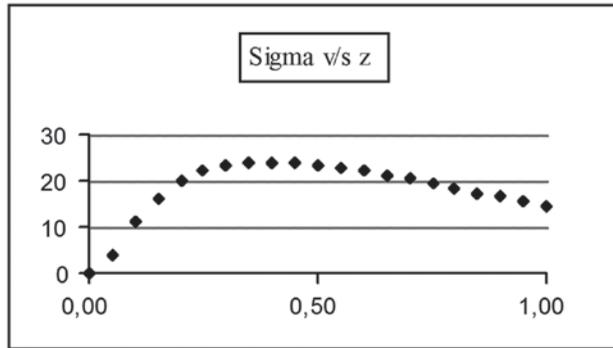


Figura N° 6
ESFUERZO DE FLEXIÓN VS. ALTURA

CONCLUSIONES

El modelo obtenido indica que la zona más probable de fractura se ubicaría en la mitad superior del árbol. Cabe señalar que el modelo no consideró la posibilidad de que el viento volcara el árbol, ni variables relacionadas con la resistencia intrínseca de la especie, el tipo de suelo, y contenido de humedad.

Un modelo más acabado debería considerar la flexión sufrida por el tronco, las diferentes alturas de podas, la interacción con el viento y su potencial posibilidad de fractura. De esta manera, sería posible establecer alturas adecuadas de podas, que cumplieran por un lado con el objetivo de mejoramiento de la madera y por otro disminuir el riesgo de caída o fractura de los árboles.

REFERENCIAS

Alexander, R. R., 1967. Windfall after clear cutting on Fool Creak-Fraser Experimental Forest, Colorado. U.S.D.A. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station Research Note R.M. 92. 11 pp.

Day, W.R., 1950. The Soil Conditions which Determine Windthrow in Forest. Forestry, Vol.23 #2, pp: 90-95.

Cendoya, P. y Muñoz, F., 2002. Modelamiento de Efecto del Viento sobre Árboles Jóvenes de Pinus radiata D.Don. Revista Bosque (23), N°2:51-56

Cendoya, P., Muñoz, F., Dechent, P. y Morbelli, M., 2004. Desarrollo de un Macromodelo de Predicción del Daño por Viento en Plantas Juveniles de Pinus radiata D.Don. Ciencia e Ingeniería Revista de Ingeniería

Fraser, A.I., 1964. The Soil and Roots, as Factors in Tree Stability. Forestry Vol 35 (1): 117-127.

Fraser, A. I. and Gardiner, J.B.H., 1967. Rooting and Stability in Sitka Spruce. Bull. For. Comm. London 40.

USO DE LAS TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN SISTEMAS DE COSECHA FORESTAL DE MÍNIMO IMPACTO EN EL SUELO

Oscar Bustos Letelier¹, Carlos Mena Frau²

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo la aplicación de una metodología para la selección de sistemas de cosecha forestal, de acuerdo a criterios económicos, productivos y ambientales, con el fin de identificar un sistema que cause el menor daño sobre el suelo forestal. Para ello se efectuó por un lado, una revisión bibliográfica detallada de los estudios realizados en la temática y por otro evaluaciones en terreno, con el objeto de identificar las variables del suelo que pudieran ser afectadas, como también de las características de las maquinarias que estuvieran relacionadas con las alteraciones del suelo. Una vez identificadas tales variables, se estableció una base de datos, la cual fue integrada mediante la aplicación de la técnica de evaluación multicriterio.

De acuerdo con lo anterior, se compararon las características de los distintos modelos de maquinaria involucrados en las faenas de cosecha forestal, observando que ninguno de ellos fuera superior al resto en todos los criterios utilizados para su evaluación. Cualquier alternativa fue superior al resto en por lo menos un criterio. Por esto la selección de una alternativa adecuada dependió de los objetivos que presentó el ente decisor, ya que una alternativa seleccionada no fue superior al resto en todas las condiciones de trabajo posibles, sólo en aquella en que se realizó el estudio.

Los modelos de maquinaria seleccionados que presentaron mejores características de trabajo y un menor daño al suelo, fueron: Grapple Skidder Caterpillar 528, Feller Buncher Timberjack 2628, y Forwarder Timberjack 1210B.

Palabras clave: Maquinaria forestal, ambiente forestal, técnicas de evaluación multicriterio.

1-Ingeniero Forestal, M.Sc. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile, obustos@utalca.cl -
2-Cartógrafo, Dr. en Geomática, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile, cmena@utalca.cl

ABSTRACT

A methodology for selection of the harvest systems, according on economic, productive and environmental approaches was evaluated. The objective was to select those harvest systems that produces the lowest damage on forest soil. From several studies and ground evaluations, the main variables of soils and machineries that caused damage were identified. The integration of this data base was made by a multicriteria evaluation technique.

A comparison of different machineries models was performed, considering as premise that any of them was superior to the rest in all the approaches used for their evaluation. In this way any alternative was superior to the rest in at least one criterion. Therefore, the selection of an appropriate alternative will depend on the objectives that possess the expert.

Within the forest harvest systems models evaluated, those that presented better productive characteristics and minor damage to soil were Grapple Skidder Caterpillar 528, Feller Buncher Timberjack 2618 and Forwarder Timberjack 1210B.

Keywords: Forest machinery, forest environment, Multicriteria Evaluation Techniques.

INTRODUCCIÓN

La extracción de la madera desde zonas boscosas requiere de la utilización de maquinaria de cosecha, la cual se caracteriza por una alta inversión de capital, como por las exigencias de una alta efectividad y eficiencia, tanto en aspectos económicos como de producción.

Actualmente existe un importante interés por considerar los efectos generados por la cosecha forestal sobre el medio ambiente y la manera de cómo disminuirlos, como también los costos y beneficios involucrados en esta actividad.

Muchas empresas forestales del país han elaborado en las últimas décadas planes de alta mecanización en la faena de cosecha forestal, con el objeto de enfrentar el aumento de los requerimientos de producción. Esto ha redundado en considerar los efectos de la mecanización en este tipo de faenas sobre el suelo, el cual representa uno de los recursos más importantes para la productividad del sitio forestal y el crecimiento de un bosque productivo. Una mala selección de la maquinaria y/o de un sistema de cosecha forestal, provocará impactos negativos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, conllevando una disminución de la productividad de los sitios forestales.

La selección de un tipo de sistema no es simple, los criterios involucrados presentan un carácter multivariante, la descripción y valoración de los mismos no se efectúa desde un único punto de vista, sino de múltiples perspectivas o criterios. Además, no todos los criterios involucrados en una evaluación poseen la misma significancia para quien decide. Por esta razón es necesario utilizar una metodología que permita asignar un peso o ponderación a cada criterio, de modo de asignar la importancia relativa a cada uno desde el punto de vista de un ente decisor, con el fin de aunar criterios para que la solución de la alternativa seleccionada sea realizada en base a los objetivos que se planteen la o las personas que toman la decisión.

Una solución a este problema es el uso de las técnicas de evaluación multicriterio, herramienta orientada a asistir en el proceso de toma de decisiones. Con estas técnicas es posible la selección de las máquinas y sistemas de cosecha más adecuados, de acuerdo a los criterios involucrados en la evaluación.

El presente estudio pretende elaborar, mediante la aplicación de la Técnica de Evaluación Multicriterio, una pauta que cuantifique el impacto sobre el suelo de las diferentes maquinarias de cosecha forestal (*Skidder, Feller Buncher, y Forwarder*) de acuerdo a criterios productivos, económicos y ambientales.

METODOLOGÍA

Mediante una recopilación bibliográfica se identificaron las variables del suelo que son afectadas por la cosecha mecanizada. Adicionalmente, se efectuó una revisión de los aspectos productivos y de protección al medioambiente de la maquinaria de cosecha más utilizada en Chile y en el extranjero.

Una vez recopilada la información se obtuvieron los valores y las medidas restrictivas, las cuales se integraron mediante el uso de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC).

Los temas que fueron integrados mediante el uso de las técnicas de evaluación multicriterio fueron los siguientes:

- (a) Selección de los sistemas de cosecha más adecuados sobre la base de criterios productivos, económicos y ambientales.
- (b) Selección del modelo de skidder, feller buncher, forwarder, harvester y trineumático más adecuado sobre la base de criterios productivos, económicos y ambientales.
- (c) Selección de la serie de suelo forestal más apta para faenas de cosecha de acuerdo a criterios físicos y químicos.

Evaluación Multicriterio

Inicialmente se estableció la enumeración de m puntos que representaron las posibles alternativas o elecciones alcanzables para el ente decisor ($A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$). Un tipo de alternativa considerada fue las máquinas ocupadas actualmente en faenas de cosecha en el país, como *skidder*, *feller buncher* y *forwarder*. Además, se requirió un conjunto de n puntos ($C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_n$) que representaron los atributos o criterios relevantes para el correspondiente problema de decisión. Una serie de criterios fue analizada para la maquinaria con sus respectivos sub criterios; productivos, económicos y ambientales.

Descritos los conceptos y dimensiones de la alternativa y los criterios, se estructuró adecuadamente la información que les relaciona y define. En primer lugar, un conjunto de $m \times n$ puntos ($R_{11}, \dots, R_{ij}, \dots, R_{mn}$), que representaron el resultado alcanzado por la alternativa o elección en cada uno de los atributos o criterios considerados. Para las diferentes maquinarias las matrices variaron su dimensión de acuerdo al número de alternativas y criterios que estos posean, para los *skidders* de 18×9 , para los *fellers* de 12×9 y para los *forwarders* de 13×11 . Por otra parte se consideraron los pesos (W_j) agrupados en el llamado vector de pesos, los cuales intentaron representar la estructura de preferencias del decisor (Barba-Romero y Pomerol, 1997).

Cuantificación y Normalización de las Evaluaciones

Las evaluaciones fueron las distintas características que la alternativa presentó frente a cada criterio, las que fue necesario cuantificar de la manera más precisa posible, ya que representaron a las alternativas en todo el proceso de análisis posterior. Para cada criterio la escala de medida de las evaluaciones estará muy determinada por su propia naturaleza.

Como en casi todos los métodos de EMC discretos, se precisa que las evaluaciones r_{ij} de una alternativa concreta i , correspondiente a todos y cada uno de los criterios j , sea comparable en magnitud, unidad de medida, posición del cero, dispersión de medida, etc. Además, como cada escala de medida viene dada por su propia naturaleza (US\$, toneladas, m^3/h , etc.), no fue factible analizarlas de inmediato, por lo que fue necesario normalizar estos valores. En este

estudio se aplicó el uso de escalas de medida, que poseen la particularidad de mantener la proporción entre los valores reales de las alternativas con respecto a cada criterio.

Asignación de Pesos

Como en todo problema de EMC es casi inevitable que algunos criterios tengan para el decisor más relevancia que otros, por razones personales éste puede considerar más importantes unos criterios que otros, dándole un peso relativo mayor o menor a los criterios.

Saaty (1977) introdujo un método multicriterio conocido por AHP (Analytic Hierarchy Process) o Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) para la asignación de pesos a los factores.

Este procedimiento fue aplicado a este estudio con el objeto de asignar los pesos respectivos. Para ello se estableció una matriz cuadrada, en la cual el número de filas y columnas estuvo definido por el número de factores a ponderar. Así se estableció una matriz de comparación entre pares de factores, comparando la importancia de uno sobre cada uno de los demás (C_{ij}), posteriormente se determinó el "eigenvector" principal, el cual estableció los pesos (W_j) y el "eigenvalor" que proporcionó una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Saaty, 1980).

Para valorar cada comparación por pares y rellenar las celdas de la matriz, se debió avanzar de columna en columna, de izquierda a derecha. En cada celda se determinó la importancia relativa de la variable de cada fila con relación a la variable de su columna correspondiente. La escala de medida establecida para la asignación de los juicios de valor es una escala de tipo continuo, que va de un valor mínimo de 1/9 hasta 9, definida por Saaty (1980) como extremadamente menos importante (1/9), hasta extremadamente más importante (9), indicando el valor 1 igualdad de importancia entre pares de factores.

Para el cálculo de los pesos se utilizó el programa computacional IDRISI, en el cual, los pesos de los factores se visualizaron en la pantalla con su respectivo Coeficiente de Consistencia de la matriz, valor que indica la probabilidad de que los valores hayan sido asignados aleatoriamente. Valores inferiores a 0,10 indicaron buena consistencia. Cuando los valores excedían de 0,10, la matriz de pesos fue evaluada nuevamente. Para la asignación de pesos para los diferentes criterios se contó con la participación de especialistas que ayudaron a asignar valores que representaron la importancia relativa que presentó cada criterio (Barredo, 1996).

Además se presentó la posible jerarquización de los criterios y la repercusión de ellos en los pesos que se les asignaron. Así una estructura jerárquica de criterios a dos niveles: un primer nivel de criterios "padres" y un segundo nivel de sub criterios "hijos" de aquellos. A los criterios padres se le asignó un valor de acuerdo a las preferencias del decisor y ese valor se repartió de manera diferente entre los criterios hijos (Barredo, 1996).

Método de Ponderación Lineal

Para efectuar la ponderación lineal se calculó una puntuación global (R_i) para cada alternativa.

$$A_i: R_i = \sum_j W_j * r_{ij}$$

Se supone un problema de EMC con m alternativas y n criterios. La característica objetiva o la utilidad que, para el criterio j, el decisor estima tiene cada alternativa i, la recoge la evaluación a_{ij} de la matriz de decisión.

Para la normalización de las evaluaciones a_{ij} se realizó el procedimiento de escalas de valores de normalización que no alteran la proporcionalidad. Los nuevos a_{ij} quedaron comprendidos entre 0 y 10, con mejor evaluación cuanto más cercanos a 10 se ubiquen, en el caso que criterios sean crecientes, o a maximizar, o decrecientes, o a minimizar.

Se normalizaron los pesos W_j de forma que sumaran la unidad (basta dividir los pesos originales por la suma de todos ellos). A partir de esto se consideró que los a_{ij} y los W_j ya están normalizados según lo dicho.

Para cada alternativa i se calculó su puntuación global:

$$R_i = \sum_j W_j * r_{ij} \quad (i = 1, \dots, m)$$

Donde: W_j : Pesos normalizados de cada criterio evaluador, r_{ij} : Asignación de la puntuación individual de cada alternativa por su correspondiente criterio.

La alternativa a escoger fue aquella cuya puntuación global fue máxima. Si hubiera varias en esta situación, cualquiera de ellas sirve.

RESULTADOS

La maquinaria de cosecha forestal analizada involucró diversas marcas y modelos de skidder, feller buncher y forwarder, con el objeto de identificar aquella que presentara las características más relevantes de acuerdo a criterios productivos, económicos y ambientales.

De acuerdo a esto, se procedió a la evaluación de los pesos en relación a la experiencia de especialistas en esta área. Sobre esta base se determinaron los valores expresados en matrices de comparación por pares para los diferentes niveles de criterios evaluados, estas matrices se presentan en los siguientes cuadros.

Cuadro N° 1
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN
DE LAS MAQUINARIAS MÁS ADECUADAS A TRAVÉS DEL PAJ CRITERIOS PADRES

	CP1	CP2	CP3	Pesos Xij
CP1	1			0,6442
CP2	1/6	1		0,0852
CP3	1/3	4	1	0,2706

Cc: 0,05

El Cuadro N° 1 de criterios padres es similar para todos los tipos de maquinaria evaluados, por lo tanto se efectuó una evaluación general de ésta. Aquí se observa que los criterios productivos presentan el mayor peso (64,42), de modo que son los que poseen mayor importancia para el ente decisor, seguido de los criterios ambientales (27,06) y los económicos (8,52) en nivel de importancia. Se determinó que los criterios productivos (CP1) son los más importantes, debido al rol que cumplen en el cumplimiento de las metas planificadas para satisfacer las exigencias de demanda que poseen las empresas forestales.

Siguiendo en importancia están los criterios ambientales (CP3), ya que estos están relacionados con el efecto de la compactación superficial por presión sobre el suelo y sub superficial (peso bruto), el cual produce la alteración de las características físicas del suelo, como pérdida de porosidad, aumento de la densidad aparente y disminución de la capacidad de infiltración de agua y aire, efectos que disminuyen la productividad de los sitios forestales.

Además se observa que el coeficiente de consistencia es menor a 0,10, por lo tanto se puede decir que los juicios de valor asignados son consistentes.

Cuadro N° 2
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN
DEL SKIDDER MÁS ADECUADO A TRAVÉS DEL PAJ SUBCRITERIOS PRODUCTIVOS

	Scp1	Scp2	Scp3	Scp4	Scp5	Pesos Xij
Scp1	1					0,2112
Scp2	1/2	1				0,1535
Scp3	1/2	1/2	1			0,1118
Scp4	3	4	3	1		0,4587
Scp5	1/3	1/3	1/2	1/5	1	0,0648

Cc: 0,04

Dentro de los sub criterios productivos, el rendimiento (Scp4) es el de mayor importancia (45,87), seguido por los criterios de potencia (Scp1 (21,12)), fuerza de tracción (Scp2 (15,35)), capacidad de carga (Scp3 (11,18)) y velocidad máxima de desplazamiento (Scp5 (6,48)) a la cual se le adjudicó el menor peso de todos los criterios involucrados.

Criterios de potencia y fuerza de tracción están relacionados con la fuerza de arrastre

disponible y la capacidad de las máquinas de confrontar situaciones adversas, como lo es superar la resistencia al rodado y de pendiente.

Se observa que el coeficiente de consistencia es menor a 0,10, por lo tanto se puede decir que los juicios de valor asignados son consistentes.

Cuadro N° 3
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN DEL FELLER BUNCHER MÁS ADECUADO A TRAVÉS DEL PAJ. SUBCRITERIOS PRODUCTIVOS

	Scp1	Scp2	Scp3	Scp4	Scp5	Pesos Xij
Scp1	1					0,2257
Scp2	1/2	1				0,1135
Scp3	3	3	1			0,4274
Scp4	1/3	2	1/4	1		0,1505
Scp5	1/2	1/2	1/3	1/3	1	0,0829

Cc: 0,08

El rendimiento (Scp3) y la potencia (Scp1), al igual que en los *Skidders*, siguen siendo los sub criterios de mayor importancia dentro de los criterios productivos, con pesos de 42,74 y 22,57, respectivamente, seguidos por diámetro máximo de corte (Scp4), con un peso de 15,05, capacidad de carga Scp2, con 11,35, y por último, la pendiente máxima de trabajo (Scp5) con 8,29. La capacidad de carga tiene una ponderación muy baja.

Finalmente, el sub criterio de pendiente máxima es el que posee el menor peso debido a que la pendiente de trabajo de las alternativas evaluadas no difiere mucho una de otra.

El coeficiente de consistencia es 0,08, muy cercano a 0,10, pero todavía menor, por lo que se puede decir que los juicios de valor asignados son consistentes.

Cuadro N° 4
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN DEL FORWARDER MÁS ADECUADO A TRAVÉS DEL PAJ SUBCRITERIOS PRODUCTIVOS

	Scp1	Scp2	Scp3	Scp4	Scp5	Scp6	Scp7	Pesos Xij
Scp1	1							0,2197
Scp2	1/2	1						0,1349
Scp3	3	6	1					0,3741
Scp4	1/5	1/5	1/9	1				0,0278
Scp5	1/6	1/2	1/4	3	1			0,0617
Scp6	1/3	1/2	1/2	5	4	1		0,1360
Scp7	1/3	1/4	1/5	2	1/2	1/4	1	0,0458

Cc: 0,07

Se presenta un mayor número de sub criterios productivos, pero de similar forma que en los casos anteriores, el rendimiento (Scp3) y la potencia (Scp1) son los que presentan la mayor

ponderación con un peso de 37,41 y 21,97, respectivamente. Los siguen en importancia los sub criterios pendiente máxima de trabajo (Scp6) con 13,60, capacidad de carga (Scp2), con 13,49, capacidad de la garra (Scp5) con 6,17, alcance máximo (Scp7), con 4,58, y por último el sub criterio velocidad máxima (Scp4) con la más baja ponderación (2,78).

La capacidad de la garra y el alcance máximo no poseen una ponderación tan alta, debido a que la diferencia entre las alternativas evaluadas no es tan significativa. Algo que es notorio, respecto del caso anterior del *feller buncher*, es el mayor peso asignado a la capacidad de carga, esto se debe a que para este tipo de máquina es fundamental este tipo de criterio, ya que esa es su labor, la de transportar la madera, lo cual esta directamente relacionado con su rendimiento.

El coeficiente de consistencia es menor a 0,10, por lo que se concluye que los juicios de valor aplicados en este caso son consistentes.

Respecto de los sub criterios ambientales para los diferentes tipos de maquinaria, en los cuadros siguientes se entregan los resultados de su análisis.

Cuadro N° 5
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN
DEL SKIDDER MÁS ADECUADO A TRAVÉS DEL PAJ SUB CRITERIOS AMBIENTALES

	Sca1	Sca2	Sca3	Pesos Xij
Sca1	1			0.1429
Sca2	2	1		0.2857
Sca3	4	2	1	0.5714

Cc: 0,00

Se puede observar que el sub criterio ambiental de presión sobre el suelo de los neumáticos traseros (Sca3), fue al que se le asignó mayor importancia relativa (57,14), ya que es aquí donde se concentra todo el peso de la carga arrastrada. Seguido en nivel de importancia se encuentra la presión de las ruedas delanteras (Sca2) con 28,57, y por último el peso bruto de la máquina con el menor valor de importancia (14,29), debido a la mayor compactación sobre la superficie por la presión de los neumáticos, que aquella producida en los horizontes más profundos y que esta relacionada con el peso de la maquinaria.

El coeficiente de consistencia es 0,00, menor a 0,10, por lo tanto los juicios de valor asignados son consistentes.

Cuadro N° 6
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN
DEL FELLER BUNCHER MÁS ADECUADO A TRAVÉS DEL PAJ. SUB CRITERIOS
AMBIENTALES

	Sca1	Sca2	Sca3	Pesos Xij
Sca1	1			0,1311
Sca2	4	1		0,6608
Sca3	2	1/4	1	0,2081

Cc: 0,05

A diferencia del caso de los *skidders*, la presión sobre el suelo de las ruedas delanteras (Sca2), es el sub criterio ambiental que se le asigna el mayor grado de importancia (66,08), debido a que es aquí donde se concentra el mayor esfuerzo que realiza este tipo de máquinas, desplazando al segundo lugar al sub criterio ambiental de presión sobre las ruedas traseras (Sca3) con 20,81, y por último, y similar al caso de los *skidders*, se le dio la menor ponderación al peso bruto de la máquina (Sca1) con 13,11. Esto se debe, al igual que en el caso de los *skidders*, a que el efecto que se produce en la superficie del suelo es más relevante, directamente relacionado con la presión de los rodados, que aquel que producen en horizontes más profundos, directamente relacionados con el peso de las máquinas.

El coeficiente de consistencia es 0,05, menor a 0,10, por lo que los juicios de valor asignados son consistentes.

Cuadro N° 7
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN
DEL FORWARDER MÁS ADECUADO A TRAVÉS DEL PAJ SUB CRITERIOS
AMBIENTALES

	Sca1	Sca2	Sca3	Pesos Xij
Sca1	1			0,1047
Sca2	3	1		0,2583
Sca3	5	3	1	0,6370

Cc: 0,03

En el análisis de los sub criterios ambientales se observa que el sub criterio presión sobre el suelo de las ruedas traseras (Sca3), es el que presenta la mayor ponderación (63,70) de parte del ente decisor, considerando a este como el más importante dentro de los criterios ambientales, ya que, al igual que en los *skidders*, es acá donde se concentra la mayor cantidad de la presión sobre el suelo. Lo siguen en importancia los sub criterios presión sobre el suelo de las ruedas delanteras (Sca2) con 25,83, y por último el sub criterio peso bruto de la máquina (Sca1), con la más baja ponderación (10,47).

Esto se basa en que la alteración provocada en la superficie del suelo es mucho más importante en la regeneración de un bosque, ya que provoca efectos de compactación, afectando más los horizontes explorados por las raíces; reduciendo la permeabilidad y el intercambio gaseoso, alteraciones directamente relacionada con la presión de los rodados, que los horizontes más bajos, lo que está relacionado con el peso del equipo.

El coeficiente de consistencia es menor a 0,10, por lo que los juicios de valor aplicados en esta situación son consistentes.

Corresponde ahora el análisis de criterios hijos de algunos sub criterios evaluados, resultados que se presentan en los cuadros siguientes.

Cuadro N° 8
MATRIZ PARA ESTABLECER EL PESO DE LOS CRITERIOS EN LA SELECCIÓN
DEL *FELLER BUNCHER* MÁS ADECUADO A TRAVÉS DEL PAJ SUB SUBCRITERIOS
PRODUCTIVOS

	Sscp3.1	Sscp3.2	Sscp3.3	Sscp3.4	Pesos Xij
Sscp3.1	1				0,5545
Sscp3.2	1/2	1			0,2999
Sscp3.3	1/6	1/3	1		0,1000
Sscp3.4	1/8	1/6	1/2	1	0,0556

Cc: 0,01

Estos sub sub criterios corresponden a la disminución del rendimiento debido al aumento de la pendiente. Aquí se ve que la asignación de importancia relativa de estos criterios va en forma descendente de acuerdo al aumento de la pendiente, ya que existe el supuesto de que las máquinas son empleadas generalmente en pendientes suaves, que no superan el 20 %.

Sin embargo, en el caso particular de que la evaluación se hubiera realizado pensando en un terreno con pendientes más fuertes, la asignación de los pesos hubiera sido diferente, realizando la importancia de aquel rango de pendiente que el terreno en estudio posea. Así se puede variar la asignación de los juicios de valor de acuerdo a los objetivos que se requiere cumplir.

Mediante el establecimiento del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) a todas la matrices de las maquinarias evaluadas, se obtuvieron los pesos (W_j) correspondientes a los criterios. Asimismo, el coeficiente de consistencia indica que la asignación de los juicios de valor es consistente. Con esto se obtuvo la matriz de decisión para los sistemas de cosecha forestal, en la cual los datos aparecen presentados en su escala natural de medida (Cuadros N°s 9, 11 y 13). Además se determinó para cada criterio, si es creciente o a maximizar o decreciente o a minimizar, el tipo de escala de medida utilizado para el proceso de normalización de los datos, y los valores de los parámetros de las escalas de medida.

Se normalizaron los valores de cada criterio, con el objeto de llevar a la unidad la sumatoria de los pesos, luego realizar la aplicación de la sumatoria ponderada lineal para obtener la puntuación global y por ende la ordenación de las alternativas evaluadas, como se muestra en los Cuadros N°s 10, 12 y 14).

La ordenación final de la matriz del Cuadro N° 9 muestra que el *skidder* N°8, Caterpillar, modelo Grapple 528 de neumáticos, es el que obtiene mayor puntuación global, el que presenta mejores características de acuerdo a los criterios ocupados para su evaluación.

Este modelo de *skidder* no presenta las mejores características en todos los criterios evaluados, pero si en una mayor cantidad que el resto de las alternativas, que de acuerdo a la importancia relativa de los criterios en la cual es superior, le confieren una mayor puntuación, lo que le permite ser considerado aquel modelo con mejores condiciones para desarrollar el trabajo requerido.

Al comparar este modelo que obtuvo la primera puntuación global, y por ende la primera ordenación (*skidder* N°8), con el modelo que obtuvo la segunda puntuación global, el *skidder* Timberjack cable 460 de neumáticos, se ve que la primera alternativa es superior en casi la totalidad de los criterios productivos evaluados: Respecto del costo de inversión y del peso de la máquina, es superado por la segunda alternativa (*skidder* N°15). Pero como en este caso, los criterios productivos tienen mayor ponderación que aquellos ambientales y económicos, la alternativa N°8 tuvo finalmente mayor puntuación global que el modelo N°15, seleccionándolo en primera prioridad.

Cuadro N° 9
MATRIZ DE DECISIÓN PARA LOS DISTINTOS MODELOS Y MARCAS DE SKIDDERS

	Criterios	CP1					CP2	CP3		
	Peso=100	64,42					8,52	27,06		
	Subcriterios	Scp1	Scp2	Scp3	Scp4	Scp5	Sce1	Sca1	Sca2	Sca3
Alternativas	Peso=100	13,61	9,89	7,20	29,55	4,17	8,52	3,87	7,73	15,46
1		95	110	3.325	99	21,5	175.000	7.700	50,7	55,3
2		95	110	3.325	105	21,5	195.000	8.766	50,7	55,3
3		140	133	4.900	87	23	140.000	13.331	50,7	55,3
4		140	133	4.900	92	23	185.000	12.497	50,7	55,3
5		160	193	5.600	61	23,5	89.000	13.857	42,5	46,2
6		160	193	5.600	74	23,5	105.000	13.558	42,5	46,2
7		175	210	6.125	82	28	150.000	14.039	46	49,9
8		175	210	6.125	90	28	165.000	14.719	46	49,9
9		116	230	4.060	59	10,3	135.000	12.909	57	57
10		116	230	4.060	68	10,3	148.000	14.031	62	62
11		142	300	4.970	65	10,9	165.000	17.677	63	63
12		142	300	4.970	74	10,9	180.000	18.801	66	66
13		115	155	4.025	60	24,8	102.000	9.933	50,7	55,3
14		165	205	5.775	86	29,2	170.000	12.973	46	49,9
15		174	146	6.090	88	29	153.000	11.282	46	49,9
16		174	146	6.090	94	32	190.000	14.512	46	49,9
17		116	120	4.060	55	24	132.000	8.387	50,7	55,3
18		116	120	4.060	64	26	148.000	10.061	50,7	55,3

Cuadro N° 10
MATRIZ DE DECISIÓN PARA LOS DISTINTOS MODELOS Y MARCAS DE SKIDDERS
(Datos normalizados, pesos sumatoria igual 1, ponderación lineal, puntuación global y ordenación final)

Alternativas	Criterios	CP1					CP2		CP3			Puntuación		Ordenación	
		0,6442					0,0852		0,2706			Final		Final	
		Scp1	Scp2	Scp3	Scp4	Scp5	Scp1	Scp2	Scp1	Scp2	Scp3				
Subcriterios	Peso=1	0,0989	0,0720	0,2955	0,0417	0,0852	0,0387	0,0773	0,1546						
1		0,00	0,00	0,00	8,91	5,23	1,89	10,00	7,48	6,84			5,03		11
2		0,00	0,00	0,00	10,00	5,23	0,00	9,04	7,48	6,84			5,16		10
3		5,63	1,21	5,63	6,73	5,91	5,19	4,93	7,48	6,84			5,79		8
4		5,63	1,21	5,63	7,64	5,91	0,94	5,68	7,48	6,84			5,73		9
5		8,13	4,37	8,13	2,00	6,14	10,00	4,45	10,00	10,00			6,31		7
6		8,13	4,37	8,13	4,36	6,14	8,49	4,72	10,00	10,00			6,89		6
7		10,00	5,26	10,00	5,82	8,18	4,25	4,29	8,92	8,72			7,23		4
8		10,00	5,26	10,00	7,27	8,18	2,83	3,68	8,92	8,72			7,51		1
9		2,63	6,32	2,63	1,64	0,14	5,66	5,31	5,54	6,25			3,74		16
10		2,63	6,32	2,63	3,27	0,14	4,43	4,30	4,00	4,51			3,69		17
11		5,88	10,00	5,88	2,73	0,41	2,83	1,01	3,69	4,17			4,24		14
12		5,88	10,00	5,88	4,36	0,41	1,42	0,00	2,77	3,13			4,34		12

Cuadro N° 11
MATRIZ DE DECISIÓN PARA LOS DISTINTOS MODELOS Y MARCAS DE FELLER BUNCHER

Alternativas	Criterios		CP1										CP2		CP3		
	Peso=100		64,42										8,52		27,06		
	Subcriterios		Scp1	Scp2	Scp3			Scp4	Scp5	Scp1	Scp2	Scp3	Scp1	Scp2	Scp3		
	Peso=100		14,54	7,31	27,53			9,70	5,34	8,52	5,34	3,55	17,88	5,63			
	Ssubcriterios				Sscp3.1	Sscp3.2	Sscp3.3	Sscp3.4									
	Peso=100		14,54	7,31	15,26	8,26	2,75	1,26	9,70	8,52	5,34	3,55	17,88	5,63			
1			110	850	69	59	52	41	46	78.500	40	7.950	52,5	41,4			
2			113	1.050	72	61	54	43	58	84.000	50	11.350	56,4	46,2			
3			130	1.600	75	64	56	45	54	80.500	45	13.953	49,8	41			
4			135	1.720	91	77	68	55	58	105.000	50	31.655	65,2	55,8			
5			170	2.722	97	82	73	58	50	120.000	35	13.608	65,6	56,6			
6			155	2.700	86	73	65	52	52	110.500	55	15.807	53,7	43			
7			200	2.730	95	81	71	57	50	170.000	35	13.834	66,8	55,6			
8			167	1.089	100	85	75	60	46	190.000	45	19.958	54,5	45			
9			205	2.727	115	98	86	69	51	225.500	50	29.166	76,2	62			
10			230	3.355	102	88	77	61	62	250.000	50	35.020	76,8	68			
11			202	2.300	115	89	79	63	54	229.000	55	25.832	65,4	54			
12			230	2.450	120	102	90	72	52	243.000	55	28.440	68,6	54			

Cuadro N° 12
MATRIZ DE DECISIÓN PARA LOS DISTINTOS MODELOS Y MARCAS DE FELLER BUNCHER
 (Datos normalizados, pesos sumatoria igual 1, ponderación lineal, puntuación global y ordenación final)

Alternativa	Criterios		CP1										CP2			CP3			Puntuación		Ordenación Final
	Peso=1		0,6442										0,2706			Final					
	Subcriterios	Scp1	Scp2	Scp3			Scp4	Scp5	Scp1	Scp2	Scp3	Scp1	Scp2	Scp3	Final	Final					
	0,1454	0,0731	0,2753			0,0970	0,0534	0,0852	0,0355	0,1788	0,0563										
	Ssubcriterios		Sscpp3.1	Sscpp3.2	Sscpp3.3	Sscpp3.4															
	Peso=1	0,1454	0,1526	0,0826	0,0275	0,0126	0,0970	0,0534	0,0852	0,0355	0,1788	0,0563									
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,73	2,00	10,00	10,00	9,11	9,86	3,21	12							
2	0,25	0,80	0,59	0,47	0,53	0,65	8,18	6,00	9,68	8,74	7,81	8,21	3,89	11							
3	1,67	2,99	1,18	1,16	1,05	1,29	6,36	4,00	9,88	7,78	10,00	10,00	4,52	9							
4	2,08	3,47	4,31	4,19	4,21	4,52	8,18	6,00	8,45	1,24	4,90	4,90	4,49	10							
5	5,00	7,47	5,49	5,35	5,53	5,48	4,55	0,00	7,58	7,91	4,77	4,62	4,99	7							
6	3,75	7,39	3,33	3,26	3,42	3,55	5,45	8,00	8,13	7,10	8,71	9,31	5,46	3							
7	7,50	7,50	5,10	5,12	5,00	5,16	4,55	0,00	4,66	7,83	4,37	4,97	4,94	8							
8	4,75	0,95	6,08	6,05	6,05	6,13	2,73	4,00	3,50	5,56	8,44	8,62	4,91	6							
9	7,92	7,49	9,02	9,07	8,95	9,03	5,00	6,00	1,43	2,16	1,26	2,76	5,41	4							
10	10,00	10,00	6,47	6,74	6,58	6,45	10,00	6,00	0,00	0,00	1,06	0,69	5,47	5							
11	7,67	5,79	9,02	6,98	7,11	7,10	6,36	8,00	1,22	3,39	4,83	5,52	5,91	2							
12	10,00	6,39	10,00	10,00	10,00	10,00	5,45	8,00	0,41	2,43	3,77	5,52	6,43	1							

Cuadro N 13
MATRIZ DE DECISIÓN PARA LOS DISTINTOS MODELOS Y MARCAS DE FORWARDER

Alternativas	Criterios	CP1										CP2			CP3					
		Scp1	Scp2	Scp3	Scp4	Scp5	Scp6	Scp7	Scp1	Scp2	Scp3	Scp1	Scp2	Scp3						
	Peso=100	64,42										8,52			27,06					
	Subcriterios																			
	Peso=100	14,15	8,69	24,10	1,79	3,97	8,76	2,96	8,52	2,83	6,99	17,24								
1		108	11.000	105	32	0,35	35	4,7	175.000	12.900	89	94								
2		100	6.000	110	20	0,30	45	4,5	229.000	28.440	62	68								
3		122	10.000	118	27	0,38	30	9,1	140.000	13.953	84	96								
4		120	12.000	116	28	0,40	40	9,4	178.000	13.000	88	98								
5		210	14.000	120	32	0,40	35	9,6	185.000	31.655	88	98								
6		110	10.845	98	30	0,35	45	7,2	160.000	15.807	79	94								
7		172	14.000	112	25	0,35	40	7,2	150.000	13.834	68	96								
8		86	6.363	82	24	0,30	30	5,6	110.000	7.000	79	96								
9		115	7.258	94	25	0,35	35	6,4	135.000	8.000	89	94								
10		155	13.636	106	25	0,40	35	7,0	182.000	15.000	82	95								
11		170	14.450	115	26	0,35	30	5,8	196.000	16.000	84	96								
12		120	12.000	101	23	0,38	40	6,4	158.500	11.600	89	94								
13		170	16.000	118	25	0,40	35	6,6	177.500	13.900	84	96								

Cuadro N° 14
MATRIZ DE DECISIÓN PARA LOS DISTINTOS MODELOS Y MARCAS DE FORWARDER
(Datos normalizados, pesos sumatoria igual 1, ponderación lineal, puntuación global y ordenación final)

Alternativas	Criterios		CP1							CP2			CP3			Puntuación		Ordenación	
	Peso=1		0,6442							0,0852			0,2706			Final		Final	
	Subcriterios	Peso=1	Scp1	Scp2	Scp3	Scp4	Scp5	Scp6	Scp7	Scp1	Scp2	Scp3	Scp1	Scp2	Scp3				
1	1,77	0,1415	5,00	0,0869	0,2410	0,0179	0,0397	0,0876	0,0296	0,0852	0,0283	0,0699	0,1724	7,61	0,36	1,88	4,55	11	
2	1,13	0,00	7,37	0,00	0,00	2,94	1,67	5,00	0,89	0,00	1,30	10,00	10,00	1,30	10,00	10,00	5,13	8	
3	2,90	4,00	9,47	4,00	9,47	7,06	8,33	0,00	9,11	7,48	7,18	2,14	1,25	7,18	2,14	1,25	5,79	4	
4	2,74	6,00	8,95	6,00	8,95	7,65	10,00	3,33	9,64	4,29	7,57	0,71	0,63	7,57	0,71	0,63	5,77	5	
5	10,00	8,00	10,00	8,00	10,00	10,00	10,00	1,67	10,00	3,70	0,00	0,71	0,63	0,00	0,71	0,63	6,01	3	
6	1,94	4,85	4,21	4,85	4,21	8,82	5,83	5,00	5,71	5,80	6,43	3,93	1,88	6,43	3,93	1,88	4,71	10	
7	6,94	8,00	7,89	8,00	7,89	5,88	5,83	3,33	5,71	6,64	7,23	7,86	1,25	7,23	7,86	1,25	6,73	1	
8	0,00	0,36	0,00	0,36	0,00	5,29	1,67	0,00	2,86	10,00	10,00	3,93	1,25	10,00	3,93	1,25	3,03	13	
9	2,34	1,26	3,16	1,26	3,16	5,88	5,83	1,67	4,29	7,90	9,59	0,36	1,88	9,59	0,36	1,88	4,19	12	
10	5,56	7,64	6,32	7,64	6,32	5,88	10,00	1,67	5,36	3,95	6,76	2,86	1,56	6,76	2,86	1,56	5,54	7	
11	6,77	8,45	8,68	8,45	8,68	6,47	5,83	0,00	3,21	2,77	6,35	2,14	1,25	6,35	2,14	1,25	5,73	6	
12	2,74	6,00	5,00	6,00	5,00	4,71	8,33	3,33	4,29	5,92	8,13	0,36	1,88	8,13	0,36	1,88	4,95	9	
13	6,77	10,00	9,47	10,00	9,47	5,88	10,00	1,67	4,64	4,33	7,20	2,14	1,25	7,20	2,14	1,25	6,65	2	

Se observa en el Cuadro N° 11 que la alternativa N° 12, el Feller Buncher Timberjack 2628 de orugas, es la alternativa que obtuvo la mayor puntuación global, o sea, de acuerdo a los criterios evaluados ésta es la primera preferencia en el caso de tener que seleccionar una de estas máquinas para una faena de cosecha forestal, ya que, globalmente, es la alternativa que presenta mejores condiciones de productividad, económicas y ambientales.

La alternativa N° 2, o sea, el Feller Buncher Timberjack 2618 de orugas, tiene mejores características que la alternativa seleccionada con la primera prioridad en los criterios de diámetro máximo de corte, en el costo de inversión y en el peso total de la máquina, pero es sobrepasado en el resto de los criterios, y como estos poseen una mayor ponderación para sus pesos le otorgan a esa alternativa una mayor puntuación global.

El análisis de los resultados de la ponderación lineal de la matriz del Cuadro N° 11 muestra que la alternativa N° 7, fue la que obtuvo la mayor puntuación global, y por lo tanto la primera preferencia para el ente decisor. Esta alternativa corresponde al *Forwarder* Timberjack 1210B de neumáticos. Este modelo correspondería a aquel que cumple de mejor forma con las restricciones que impuso el decisor.

Al comparar las evaluaciones de este modelo con la primera preferencia, con un caso extremo como es aquella alternativa que obtuvo la más baja preferencia de acuerdo a los criterios involucrados en la evaluación (alternativa N° 8, *Forwarder* Fabtek FT244 de neumáticos), se observa que esta última es mejor en los criterios de costo de inversión y de peso bruto de la máquina, pero superado claramente en el resto de los criterios. Esto demuestra que ninguna de las alternativas aquí evaluadas es dependiente de otra, o sea, en por lo menos uno de los criterios involucrados en la evaluación, es superior al resto de las alternativas, lo que le permite seguir siendo involucrado en la posterior evaluación.

Esta ordenación final depende mucho de los objetivos que posea el ente decisor, ya que esta ordenación se realiza a base de la mayor o menor puntuación durante la asignación de los juicios de valor, lo que le va a otorgar el grado de importancia a un criterio en particular, que hará destacar por sobre las otras alternativas a aquella que posea mejores características en ese determinado criterio.

CONCLUSIONES

Las variables del suelo más afectadas por la cosecha mecanizada fueron la densidad aparente, porosidad, drenaje, y contenido de materia orgánica.

Los modelos de sistemas de cosecha forestal evaluados que presentaron mejores características de trabajo y un menor daño al suelo, fueron: Grapple Skidder Caterpillar 528, Feller Buncher Timberjack 2628, y Forwarder Timberjack 1210B.

REFERENCIAS

Barba-Romero, S. y J.C. Pomerol. 1997. Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica. Alcalá de Henáres (Madrid): Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. 420 p.

Barredo, J., 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. Madrid, España: Editorial Ra-Ma. Primera edición. 263p.

Saaty, T., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. Journal of Mathematical Psychology. No 15. pp. 234-281.

Saaty, T., 1980. The Analytic Hierarchy Process. Mc Graw Hill. New York.

SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO INICIAL DE PLANTAS MICROPROPAGADAS DE RAULÍ (*Nothofagus alpina* (Poepp et Endl) Oerst) ESTABLECIDAS EN ENSAYOS CLONALES

Braulio Gutiérrez C.¹

RESUMEN

Se evaluó el desempeño en terreno a los tres años de edad de plantas micropropagadas de raulí, en tres ensayos clonales establecidos en Chile, en sitios representativos de la distribución natural de la especie, en las provincias de Malleco, Cautín y Valdivia, entre los 800 y 1.000 msnm.

Se observó un comportamiento superior de los clones micropropagados en relación a los testigos provenientes de semilla comercial, situación esperable debido al origen selecto de los clones, los cuales corresponden a réplicas vegetativas de árboles *plus* rigurosamente seleccionados en función de sus características de volumen y forma. Aún así, se observa también una gran variación entre clones y entre las procedencias de los mismos, así como evidencias de interacción genotipo ambiente.

Palabras clave: *Nothofagus alpina*, silvicultura clonal.

SUMMARY

The field performance at three years old of micropropagated plants of Raulí, established in three clonal tests in representative sites of the natural distribution of the species in Chile (Malleco, Cautín and Valdivia provinces, between 800 and 1,000 masl) was analyzed.

A superior behavior of the micropropagated clones in relation to the control plants originated from commercial seed was observed, expectable situation due to selected origin of the clones, which are vegetative copies of rigorously selected *plus* trees based on their characteristics of volume and forms. A great variation between clones and between their provenances was also observed, as well as evidences of genotype environment interaction.

Keywords: *Nothofagus alpina*, clonal forestry.

¹Ingeniero Forestal. Instituto Forestal Sede Bio Bio. Chile. E-mail: bgutierr@infor.cl

INTRODUCCIÓN

Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp et Endl.) Oerst) es una especie forestal nativa de los bosques de Chile y Argentina, que en el país ha sido definida como una especie prioritaria para contribuir a la diversificación de las plantaciones forestales nacionales y que como recurso ha sido fuertemente degradado debido a la cosecha indiscriminada de que ha sido objeto como consecuencia de la alta calidad y valor de su madera.

El tradicional e histórico “floreo” (extracción selectiva) sufrido por los bosques en que se presenta raulí ha reducido considerablemente la proporción de individuos de alta calidad maderera. Consecuentemente, INFOR inició en 1996 un programa de mejoramiento genético orientado a recuperar y mejorar el potencial productivo de esta especie. Entre otras actividades, durante este programa inicial se identificaron árboles plus, los que fueron rigurosamente seleccionados en función de su superioridad en volumen y forma. Posteriormente, a partir del año 2001, un nuevo proyecto de investigación permitió desarrollar procedimientos para la multiplicación clonal de los árboles selectos, mediante técnicas de cultivo *in vitro*. El material multiplicado en esta iniciativa, rigurosamente identificado por clon y lugar de procedencia, fue establecido en ensayos clonales en terreno con la finalidad de evaluar el desempeño de los clones y diferenciar el material genético idóneo para distintas zonas de plantación dentro del área de distribución natural de raulí

La descripción de los ensayos mencionados y los resultados de su evaluación de crecimiento y supervivencia a los tres años de edad se describen en el presente documento. La información entregada en este análisis será de gran valor para orientar decisiones respecto a la conveniencia de usar clones selectos, qué material es más adecuado para cada área geográfica y qué comportamiento inicial podrá esperarse de sus plantaciones operacionales. Los clones considerados constituyen un material genético de alto valor, especialmente apropiado para establecer plantaciones o contribuir al enriquecimiento de bosques degradados, aspecto que cobra especial relevancia en la actualidad, en el marco de la nueva ley de recuperación del bosque nativo.

OBJETIVOS

Evaluar el desempeño inicial de tres ensayos clonales de raulí para identificar los clones de mejor desempeño en distintas áreas geográficas representativas de la distribución natural de la especie.

MATERIAL Y MÉTODO

Se evalúan tres ensayos clonales de raulí identificados con el nombre del predio donde fueron establecidos, Reserva Forestal Malleco, Molulco y Remeco (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
ENSAYOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN

Ensayo	Provincia Región	Comuna	Altitud (msnm)	Propietario	Establecimiento
RF Malleco	Malleco La Araucanía	Collipulli	980	CONAF	Oct. 2005
Molulco	Cautín La Araucanía	Melipeuco	800	MAGASA	Ago. 2005
Remeco	Valdivia Los Ríos	Panguipulli	870	Forestal Neltume Carranco	Oct. 2005

En la selección de terrenos para los ensayos clonales de raulí, se utilizó un sistema de clasificación de sitios desarrollado para Chile por Schlatter *et al.* (1994; 1995). Como base se usó la distribución natural de *Nothofagus alpina*. Se usó el material cartográfico base de la distribución natural de los tipos forestales Roble-Raulí-Coigüe y Coigüe-Raulí-Tepa, a escala 1:250.000, para las provincias de Malleco, Cautín y Valdivia. Además, se utilizó la información del sistema de clasificación de Schlatter y Gerding (1995), también a escala 1:250.000. Luego, para poder definir las zonas y distritos de crecimiento a los cuales están suscritas las áreas elegidas como representativas de *Nothofagus alpina*, se traslaparon ambas coberturas. El trabajo de selección y caracterización de los sitios fue efectuado por el mismo autor principal de los trabajos mencionados. Las áreas con raulí de la Cordillera de la Costa no fueron consideradas en la selección de sitios, debido a que las poblaciones principales se encuentran en la Cordillera de los Andes y a que los sitios de la Cordillera de la Costa son de menor interés productivo para la especie.

La descripción de los sitios de cada ensayo es la siguiente (Schlatter y Steuer, 2005):

Ensayo RF Malleco: Ladera alta a media, en loma con exposición Sur, a 980 msnm., con 40 a 50 % de pendiente, convexa pero con contorno recto (levemente convexo). El suelo pertenece a la serie Santa Bárbara, es de cenizas volcánicas modernas, con presencia de pumicita. El drenaje es rápido y las raíces se extienden por sobre los 100 cm. El sitio presenta un estrato arbóreo dominante de raulí, originado por rebrote, y coigüe, y codominante de tepa y avellanillo. El bosque es bastante abierto y fue afectado por sucesivos incendios, además de una intensa explotación maderera. Presenta una precipitación entre 2.500 y 3.000 mm anuales.

Ensayo Molulco: Ladera media, de exposición Sur, colindante a un escarpe rocoso, dentro de una colina, con elevación de 800 msnm. La ladera es recta a cóncava y su contorno cóncavo a recto. El suelo pertenece a la serie Huerere, es de cenizas volcánicas, las que cubren un suelo enterrado, presenta una capa de pumicita delgada dentro del perfil. Las raíces se extienden por sobre los 100 cm, pero la principal masa se presenta hasta los 90 cm, el drenaje interno es rápido. El sitio está cubierto de un renoval abierto, con un estrato dominante de roble y raulí, y como acompañantes

tepa y lleuque. El área ha sido intervenida para pastoreo de ganado. Presenta una precipitación aproximada de 3.000 mm anuales.

Ensayo Remeco: Ladera baja en sector de colinas, con exposición Oeste y elevación de 870 msnm. La pendiente es de 35 %, recta a cóncava con contorno levemente convexo. El suelo está en la transición entre las series Liquiñe y Ralún, es de cenizas volcánicas estratificadas, con presencia de pumicita. Las raíces se extienden por sobre los 150 cm, su drenaje interno es rápido a moderado. Se encuentra alejado del efecto inmediato del volcán Choshuenco, lo que explica el predominio de cenizas y arenas pumicíticas y la ausencia de escorias volcánicas. El estrato arbóreo remanente lo conforman coigüe y raulí, como dominantes, y tepa y mañío, como codominantes, en un bosque muy floreado e invadido por coligüe. La precipitación media anual es superior a los 4.000 mm.

Los tres ensayos poseen el mismo diseño experimental. Corresponden a plantaciones establecidas con réplicas micropropagadas de árboles plus (clones), distribuidas en cuatro bloques al azar, dentro de los cuales cada clon se representa por una parcela lineal de seis plantas (rametos). Cada ensayo comprende del orden de 20 clones representado por 6 rametos en cada uno de sus cuatro bloques. Como testigos se consideran 4 lotes de plantas de raulí originadas de semillas. La descripción del material genético considerado en cada ensayo se detalla en el Cuadro N° 2 (Gutiérrez *et al.*, 2005).

Cada clon considerado en los ensayos corresponde a un árbol único, identificado mediante un código que le fue asignado al momento de su selección y que se ha mantenido hasta la fecha, permitiendo conocer con precisión el origen de cada una de las plantas producidas y representadas en los ensayos clonales.

La medición, correspondiente al tercer año de establecidos los ensayos, se digitó para construir una base de datos en que se registró la identificación y procedencia de cada clon junto con información de su crecimiento en altura, supervivencia y estado de las plantas. La base de datos de cada ensayo se evaluó en forma individual y también las tres en forma conjunta. Se efectuó análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples de medias (Scott y Knott, $\alpha = 0,05$) para las variables altura y supervivencia, utilizando el programa estadístico InfoStat, agrupando la información tanto por clon como por origen (procedencia).

Cuadro N° 2
MATERIAL GENÉTICO CONSIDERADO EN LOS TRES ENSAYOS CLONALES DE RAULÍ

Código Clon	Origen	Identificación De terreno	Ensayos		
			RF Malleco	Molulco	Remeco
3	Melipeuco	Melipeuco 3	X		X
7	Melipeuco	Melipeuco 8	X	X	X
12	Jauja	Jauja 7	X	X	X
23	Voipir	Voipir 2	X	X	X
33	Neltume	Neltume 14	X	X	X
37	Victoria	San Gregorio 1	X	X	X
38	Victoria	San Gregorio 2	X	X	X
40	Victoria	San Gregorio 5	X	X	X
43	Victoria	San Gregorio 11	X	X	X
44	Lastarria	Lastarria 1	X	X	X
53	Melipeuco	Melipeuco 15	X	X	X
58	Melipeuco	Melipeuco 20	X	X	X
66	Arquihue	Arquihue 4	X	X	X
88	Curacautín	Sta. Emilia 34	X	X	X
98	Curacautín	Manzanar 46		X	
120	HSC Huillilemu	Huillilemu clon 23	X	X	X
121	HSC Huillilemu	Huillilemu clon 24	X	X	X
131	HSC Huillilemu	Huillilemu clon 37	X	X	X
132	HSC Huillilemu	Huillilemu clon 38	X	X	X
138	HSC Huillilemu	Huillilemu clon 53	X	X	X
141	HSC Huillilemu	Huillilemu clon 40	X	X	X
T1	Plantas de semilla CEFOR		X	X	X
T2	Plantas de semilla INFOR		X	X	
T3	Plantas de semilla INFOR con <i>Morchella</i> sp.			X	
T4	Plantas de semilla de vivero comercial		X	X	X

Para efecto de determinar las medias de supervivencia se consideró a todas las plantas vivas, independiente de su estado, mientras que para determinar las medias de altura las bases de datos fueron depuradas usando la información de estado, para eliminar del promedio a las plantas dañadas (ápice seco, quebradas, ramoneadas, rebrotes, etc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro N° 3 resume los resultados de altura y supervivencia por ensayo, desprendiéndose como primera observación el estadísticamente significativo menor crecimiento en altura experimentado por el ensayo de la Reserva Forestal Malleco, el que a su vez obtiene el mayor valor de supervivencia y de plantas dañadas.

Cuadro N° 3
RESULTADOS GENERALES DE ALTURA Y SUPERVIVENCIA POR ENSAYO

Ensayo	Altura (cm)	Supervivencia (%)	Plantas dañadas (%)
Remeco	102,36	70,5	7,0
Molulco	101,41	75,7	4,9
RF Malleco	59,51	83,7	10,3
PROMEDIO	86,77	76,6	7,4

Al evaluar los ensayos en forma individual se observa que en todos ellos existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de altura alcanzados por cada clon (Cuadro N° 4) y origen de los mismos (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 4
DESEMPEÑO A NIVEL DE CLONES EN CADA UNO DE LOS ENSAYOS EVALUADOS

RF Malleco				Molulco				Remeco			
Clon	Altura (cm)	(*)	Sup (%)	Clon	Altura (cm)	(*)	Sup (%)	Clon	Altura (cm)	(*)	Sup (%)
7	91,76	A	91,7	T4	137,50	A	8,3	7	118,53	A	83,3
12	75,72	B	79,2	98	136,79	A	100,0	40	118,40	A	91,7
44	72,11	B	100,0	37	134,35	A	79,2	58	117,68	A	70,8
38	70,56	B	83,3	38	120,09	B	83,3	132	116,77	A	95,8
T4	68,79	B	54,2	23	119,53	B	87,5	23	114,36	A	66,7
37	67,06	B	100,0	58	114,90	B	87,5	12	112,58	A	29,2
131	64,22	B	95,8	43	114,46	B	87,5	33	109,37	A	62,5
3	64,14	B	75,0	66	113,70	B	79,2	53	105,75	A	50,0
121	60,57	C	95,8	138	111,32	B	95,8	3	104,02	A	50,0
58	58,89	C	79,2	132	111,02	B	79,2	43	103,44	A	79,2
53	58,11	C	61,1	121	110,81	B	83,3	141	101,68	A	83,3
23	57,66	C	95,8	7	109,89	B	91,7	38	100,49	A	62,5
T1	56,77	C	45,8	33	107,49	B	83,3	131	99,93	A	83,3
88	55,16	C	91,7	131	104,01	B	75,0	37	99,77	A	83,3
141	52,98	C	91,7	12	96,46	C	45,8	138	99,77	A	95,8
T2	52,15	C	70,8	88	94,66	C	66,7	88	99,59	A	20,8
40	51,98	C	100,0	141	92,20	C	83,3	44	94,88	B	58,3
120	51,13	C	100,0	T1	91,67	C	79,2	120	94,42	B	91,7
132	51,13	C	95,8	53	88,14	C	66,7	66	91,77	B	95,8
43	49,98	C	91,7	40	85,55	C	79,2	121	91,64	B	83,3
66	49,05	C	79,2	120	75,89	D	79,2	T4	80,67	B	29,2
138	43,70	C	91,7	44	72,10	D	58,3	T1	77,96	B	75,0
33	41,63	C	83,3	T3	57,97	D	79,2				
				T2	52,78	D	70,8				
Promedio	59,51		83,7		101,41		75,7		102,36		70,5

(*): Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$)

Cuadro N° 5
DESEMPEÑO A NIVEL DE PROCEDENCIAS EN CADA UNO DE LOS ENSAYOS
EVALUADOS

Procedencias	RF Malleco			Molulco			Remeco		
	Altura (cm)	(*)	Sup (%)	Altura (cm)	(*)	Sup (%)	Altura (cm)	(*)	Sup (%)
Arquihue	49,05	B	79,2	113,7	A	79,2	91,77	B	95,8
Curacautín	55,16	B	91,7	112,72	A	81,0	99,59	A	20,8
HSC Huillilemu	53,96	B	95,1	100,87	B	82,6	100,7	A	88,9
Jauja	75,72	A	79,2	96,46	B	45,8	112,58	A	29,2
Lastarria	72,11	A	100,0	72,1	C	58,3	94,88	A	58,3
Melipeuco	68,9	A	77,8	104,31	B	81,9	111,5	A	63,5
Neltume	41,63	B	83,3	107,49	B	83,3	109,37	A	62,5
Victoria	59,9	B	93,8	113,61	A	82,3	105,53	A	79,2
Voipir	57,66	B	95,8	119,53	A	87,5	114,36	A	66,7
Testigos	59,88	B	54,2	72,86	C	59,4	79,12	B	63,5
Promedio	59,51		83,7	101,41		75,7	102,36		70,5

(*): Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$)

Del cuadro 5 se desprende que el desempeño de los clones es superior al de los testigos de semillas, los cuales alcanzan las menores alturas en los ensayos de Molulco y Remeco y alturas intermedias en el ensayo de la Reserva Forestal Malleco. Como situación excepcional se observa que el testigo T4 presenta la mayor altura promedio en el ensayo de Molulco, pero se trata de unas pocas plantas individuales de gran tamaño inicial al momento de establecer el ensayo, las cuales en su conjunto exhiben una supervivencia tan baja (8,4%) que no las hace aconsejables como material de plantación.

El hecho de que los clones de mejor desempeño en cada ensayo sean distintos, sugiere la existencia de interacción genotipo-ambiente. Esta condición puede visualizarse al comparar el ordenamiento o ranking de los clones comunes en los tres ensayos (Figura N° 1), si el ordenamiento fuese similar las líneas tendrían tendencia a ser similares también, lo que indicaría que no existe interacción genotipo-ambiente y que los clones con mejor desempeño en un sitio determinado, también estarían entre los mejores en los sitios restantes. No obstante la situación observada es muy heterogénea, por lo mismo, para cada sitio se debe privilegiar un conjunto de clones específicos.

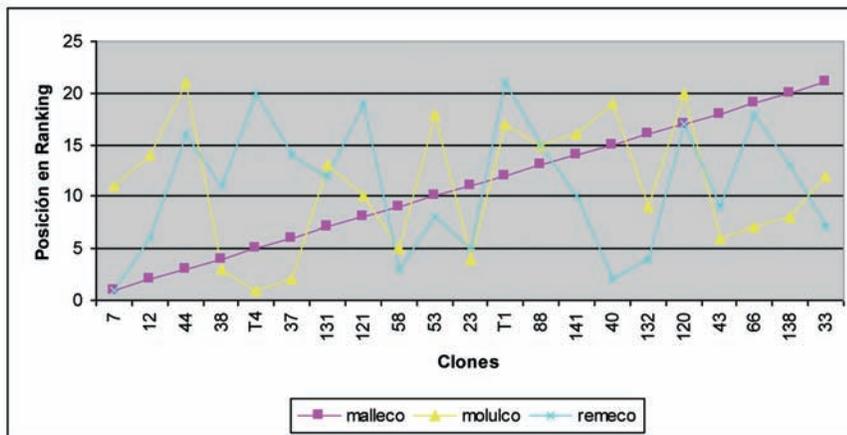


Figura Nº 1

COMPARACIÓN DE LOS RANKINGS CLONALES EN LOS TRES ENSAYOS EVALUADOS

Tal situación también se corrobora en la matriz de correlación de alturas por clon entre pares de ensayos (Cuadro Nº 6). En la medida que la correlación es positiva y alta no existe interacción genotipo ambiente y los mismos clones son los mejores en todos los sitios. Sin embargo, en la situación observada las correlaciones son bajas, sugiriendo precisamente lo contrario y confirmando la necesidad de usar clones distintos en cada área geográfica representada por los ensayos.

Cuadro Nº 6

MATRIZ DE CORRELACIÓN DE ALTURAS ENTRE PARES DE ENSAYOS

	RF Malleco	Molulco	Remeco
RF Malleco	1	0,11	0,08
Molulco	-	1	-0,02
Remeco	-	-	1

La existencia de interacción genotipo-ambiente alerta respecto a la inconveniencia de tomar decisiones en base al análisis conjunto o simultáneo de los tres ensayos. Este enfoque, si bien orienta respecto al desempeño relativo medio de los clones evaluados, no permite discriminar cuales son los mejores en cada situación y resulta de interés solo cuando tal interacción no se manifiesta. Por lo mismo el análisis conjunto de los ensayos no se presenta en este documento

En consecuencia, considerando que los sitios ensayados representan tres niveles latitudinales de la distribución natural de raulí en la Cordillera de los Andes, sobre los 800 msnm, el análisis efectuado permite sugerir que en las áreas geográficas comprendidas de norte a sur por las provincias de Malleco, Cautín y Valdivia, los clones más apropiados son los indicados en el Cuadro Nº 7.

Cuadro N° 7
CLONES Y PROCEDENCIAS DE MEJOR DESEMPEÑO
PARA PLANTAR RAULÍ EN DISTINTAS ÁREAS GEOGRÁFICA DE SU DISTRIBUCIÓN
NATURAL

Área geográfica	Clones
Malleco	7, 12, 44, 38
Cautín	98, 37, 38, 23
Valdivia	7, 40, 58, 132

La sugerencia anterior debe ser considerada como preliminar por cuanto el estado de desarrollo de las plantas aún es demasiado incipiente como para hacer recomendaciones definitivas. Lo mismo puede afirmarse respecto a las procedencias de mejor desempeño, resultando una medida prudente privilegiar el uso de material genético seleccionado en procedencias locales para establecer las plantaciones en cada sitio. Efectivamente, las procedencias locales, Jauja en el ensayo de la RF Malleco, y Neltume en el ensayo Remeco, se encuentran entre las de mejor desempeño en sus respectivos ensayos. Sólo en la plantación de Molulco, la procedencia local (Melipeuco) conforma un grupo cuyo comportamiento es inferior al de las mejores procedencias de ese ensayo.

CONCLUSIONES

Plantas micropropagadas provenientes de árboles *plus* de raulí evidencian un mejor comportamiento inicial en terreno que otras generadas a partir de semilla comercial, sugiriéndose que esta diferencia obedece al origen genético del material clonal, más que a la forma de producción de las plantas.

Existen evidencias de interacción genotipo ambiente que aconsejan no usar los mismos clones para distintas condiciones de plantación, privilegiándose en cada caso a los que exhiben el mejor desarrollo en cada zona evaluada.

En términos del origen geográfico de los clones evaluados, se sugiere la utilización de procedencias locales mientras no se cuente con información definitiva, obtenida de evaluaciones efectuadas a edades más avanzadas, que permita confirmar el mejor comportamiento de procedencias individuales en cada zona de plantación.

REFERENCIAS

Gutiérrez, B.; Bello, A. y Navarrete, M., 2005. Manual de ensayos clonales de raulí. Documento del proyecto FDI 00C7FT-12: "Silvicultura Clonal en Raulí para Aumentar la Productividad de Sitios Forestales en la IX y X Regiones del País". INFOR. 44p.

Schlatter, J.E.; Gerding, V. y Adriaola, J., 1994. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicado a las regiones VII, VIII y IX. Serie Técnica, Fac. Cs. For., Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile. 114 p.

Schlatter, J.E.; Gerding, V. y Huber, H., 1995. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicado a la X Región. Serie Técnica, Fac. Cs. For., Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile. 93 p.

Schlatter, J.E. y Gerding, V., 1995. Método de clasificación de sitios para la producción forestal, ejemplo en Chile. Bosque 16(2): 13 – 20.

Schlatter, J. y Steuer, H., 2005. Selección de sitios para el establecimiento de ensayos clonales de raulí. En: Gutiérrez, B.; Ortiz, O. y Molina, M. (editores). 2005. Clonación de raulí: Estado actual y perspectivas. INFOR-CEFOR-UACH. Concepción, Chile. Pp: 75-103.

EL GÉNERO PROSOPIS, VALIOSO RECURSO FORESTAL DE LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA, ASIA Y AFRICA.

Santiago Barros. Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Chile. sbarros@infor.cl

RESUMEN

El género *Prosopis*, familia *Leguminosae* o *Fabaceae*, subfamilia *Mimosoideae*, está presente en forma natural en las zonas áridas y semiáridas de África, América y Asia. Consta de 44 especies, arbustivas y arbóreas, que taxonómicamente han sido divididas en 5 secciones. Tres especies son nativas de Asia, una de África y las restantes cuarenta de América, principalmente Sudamérica. Se las conoce con diferentes nombre vernáculos locales; en América, algarrobo, mezquite, *Mesquite*, *Screwbean*.

Son especies multipropósito, la mayoría espinosas, alrededor de la mitad de ellas superan los 7 m de altura y varias llegan a 15 y 20 m de altura. Son resistentes a extremas condiciones de sitio; sequía, calor, salinidad en el suelo, y todas ellas son fijadoras de nitrógeno.

Sus principales productos son combustible, en forma de leña y carbón de muy buena calidad, y forraje, por medio de su follaje y brotes tiernos y principalmente sus frutos. Según la especie se puede obtener madera para estructuras e incluso para aserrío, de gran calidad para muebles, parquet y otros usos, alimento humano en algunos casos, tinturas, curtientes, gomas, fibras y productos medicinales.

Estas características hacen de estas especies un recurso de mucho interés para zonas áridas y semiáridas, razón por la que se las ha introducido mediante plantaciones fuera de sus regiones de distribución natural. Especies como *Prosopis juliflora* y *P. pallida*, de América han sido introducidas en el NE de Brasil, en diversos países de África y Asia, y en Australia. *Prosopis velutina* y *P. glandulosa*, de Norteamérica, se han introducido en Australia y Sudáfrica, y en algunos casos en sus áreas de origen se están realizando plantaciones de cierta extensión con las especies nativas, como es el caso de Chile con *Prosopis tamarugo* y *P. alba*.

Varias de las principales especies del género son de carácter pionero, en especial *Prosopis glandulosa* y *P. juliflora*, y pueden tornarse agresivamente invasoras en sus lugares de origen y en especial en aquellos donde se las introduce, situación que hace muy importante un adecuado manejo y utilización de las plantaciones para evitar una dispersión descontrolada.

SUMMARY

The *Prosopis* genus, family *Leguminosae* or *Fabaceae*, sub family *Mimosoideae*, is naturally distributed on the arid and semiarid zones of Africa, Asia y America and is composed by 44 trees or shrubby species, three of them native to Asia, one native to Africa and forty native to America, meanly South America. They are locally known as algarrobo, mesquite, Mesquite, Srewbean in America.

Prosopis species are multipurpose trees and shrubs, most of them thorny, about half of

them reach more than 7 m high and several can reach up to 15 and 20 m high. The species are hot, drought and salt resistant, all are nitrogen fixing and thrive under extremely rigorous site conditions.

Main products from *Prosopis* species are fuel, through high quality firewood and charcoal, and fodder, from the leaves and fresh sprouts and mainly the pods. Depending on the species, there are several other valuable products, as wood for structure, fine furniture and floors, fencing material and others, human food in some cases, tannins, dyes, gums, fiber and medicinal products.

The above characteristics turn these species into interesting resources to arid and semiarid zones and they have been introduced by planting to areas out of their natural range. *Prosopis juliflora* and *P. pallida*, from America, have been introduced to NE Brazil, several countries in Africa and Asia, and to Australia also. *Prosopis velutina* and *P. glandulosa*, from Northamerica, were introduced to Australia and Southafrica, and within its natural range some species are used in afforestation programs, as in northern Chile with *Prosopis tamarugo* and *P. alba*.

Some of the main species in the genus have a pioneer character, especially *Prosopis glandulosa* and *P. juliflora*, and can become aggressive invader species within their native range and mainly through the exotic or introduction range. The risk of an out of control species spread has to be avoided by means of forest management and appropriate use of the species in the new areas.

INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Prosopis*, familia *Leguminosae* o *Fabaceae*, subfamilia *Mimosoideae*, se distribuyen naturalmente en la zonas áridas y semiáridas de Asia, África y América, se han clasificado 44 especies en el género, agrupadas en cinco series (Burkart, 1976).

Es un género principalmente americano, sólo 3 especies son nativas de Asia y una de África, las restantes 40 se distribuyen en Norteamérica, Centroamérica y, mayoritariamente, Sudamérica.

Se trata en general de especies arbustivas y arbóreas, espinosas, fijadoras de nitrógeno y resistentes a calor, frío, salinidad en el suelo y sequía, que ofrecen una variedad de productos, como madera, leña, carbón, alimentos, forraje y productos químicos. Alrededor de la mitad de ellas alcanzan alturas por sobre los 7 m.

La más importantes por su distribución, tamaño y productos son probablemente *Prosopis cineraria*, en Asia; *Prosopis africana*, en África; *Prosopis velutina*, *P. glandulosa* y *P. laevigata*, en Norteamérica; *Prosopis juliflora*, en Centroamérica; y *Prosopis juliflora*, *P. pallida*, *P. nigra*, *P. alba*, *P. flexuosa*, *P. chilensis*, *P. tamarugo* y *P. caldenia*, en Sudamérica.

Sus características de especies multipropósito, principalmente en términos de

combustible, forraje y protección de suelos, que prosperan en condiciones de sitio bajo las cuales pocas otras especies de interés, o ninguna, lo hacen, las han tornado muy atractivas, tanto en sus áreas de origen como fuera de estas, y ya desde el Siglo XIX han sido introducidas muchas de ellas en zonas áridas y semiáridas del mundo fuera de sus áreas de distribución natural.

Las principales introducciones se han llevado a cabo con *Prosopis juliflora* y *P. pallida*, en zonas tropicales, y con *Prosopis glandulosa* y *P. velutina*, en zonas subtropicales. *Prosopis alba* y *P. chilensis*, han sido introducidos también en diferentes regiones, y con *Prosopis cineraria*, *P. pubescens*, *P. africana* y *P. tamarugo* se han realizado múltiples esfuerzos de introducción en diferentes lugares, pero raramente sobreviven, muy probablemente debido a las particulares condiciones de sitio bajo las cuales prosperan en forma natural, en especial *Prosopis tamarugo*.

Pasiecznik et al. (2001) comentan que en África se han introducido especies del género en 25 países; Marruecos, Argelia, Tunes, Libia y Egipto, en el norte; toda la región de Sahel, en el centro y oeste; Kenya y Tanzania, en el este; y Namibia, Zimbawe y Sudáfrica, en el sur.

Burkart (1976) señala que en Asia y el norte de África se han introducido *Prosopis pallida*, en India; *Prosopis juliflora*, en Irak, Pakistan, India y Vietnam; *Prosopis glandulosa* en Arabia, Pakistán e India; *Prosopis juliflora* en África Tropical; *Prosopis pubescens*, *P. chilensis* y *P. glandulosa*, en el sur y suroeste de África; *Prosopis juliflora* y en Hawaii, Islas Marquesas y Filipinas; y *Prosopis juliflora*, *P. pallida*, *P. chilensis*, *P. glandulosa* y *P. velutina*, en Australia.

Varias especies del género, y entre ellas aquellas que más se han difundido fuera de sus regiones de distribución natural, son especies pioneras de carácter invasor en sus áreas de ocurrencia natural, en especial *Prosopis glandulosa*, en USA y México; *Prosopis juliflora*, en Venezuela y Colombia; y *Prosopis velutina*, en USA; y han mantenido este comportamiento en las zonas en que se las ha introducido, invadiendo en algunos casos grandes extensiones de terreno y perjudicando la agricultura y la ganadería al formar densos matorrales espinosos que impiden el crecimiento de pastos y el ingreso de ganado o afectan napas y otros recursos de aguas. A las anteriores se agrega *Prosopis pallida*, que sin exhibir esta característica en sus áreas de ocurrencia natural, si lo hace donde se la ha introducido.

Es así como, además de USA, Australia, Sudáfrica y Namibia tienen problemas con *Prosopis glandulosa*; Australia, varios países de África, e islas del Caribe y del Atlántico, los tienen con *Prosopis juliflora*; Australia y las Islas Hawaii, con *Prosopis pallida*; y Australia y Sudáfrica, con *Prosopis velutina*. En varios de estos casos, las especies han llegado a ser consideradas malezas indeseables que deben ser combatidas o erradicadas.

No obstante, las especies del género proporcionan en diversas regiones del mundo, como especies nativas o introducidas, valiosos bienes y servicios, constituyendo en algunos casos la única especie arbórea y la única fuente de combustible y forraje.

Pasiecznik et al. (2001) señalan que la aceptación o valoración de estas especies se relaciona con los ingresos; quienes pueden comprar gas envasado para cocinar y no están obligados a criar ganado para subsistir, rápidamente olvidan el valor de estas especies como

fuentes de energía y forraje, sin embargo para los más pobres son un recurso único y valioso.

Los mismos autores señalan que, en contraste con visiones negativas sobre los algarrobos o mezquites, hasta el 70 % de las necesidades de leña de poblaciones rurales en las zonas secas de India lo proveen formaciones de *Prosopis*; que en Hawaii *Prosopis pallida* es aún considerado el más valioso árbol introducido a las islas; que la misma especie en África ha probado ser muy útil en las zonas áridas de Sudán, al igual que en el oeste de África, como estabilizadora de dunas, y en la Región de Sahel formando cortinas cortavientos y cercos vivos, y como productora de combustible.

En términos generales, en las áreas donde los *Prosopis* son nativos hay cierto respeto por el árbol y sus productos, las especies han sido más estudiadas y hay por tanto mayor conocimiento sobre el valor de ellas. Sin embargo, esto ha conducido a sobreexplotación y agotamiento de las formaciones naturales en el pasado. En donde estas especies son introducidas, no hay conocimiento sobre su potencial y no hay responsabilidad en su uso y manejo, son subutilizadas y los recursos desperdiciados, situación que conduce a una dispersión, natural o inducida por el hombre, que sale de control y las especies se tornan invasoras.

Existen entonces recursos de importancia en diversas áreas del mundo, donde las especies son nativas y donde son exóticas, y los árboles son utilizados para madera de diferentes aplicaciones, como estructuras, leña, carbón, cercos y en algunos casos muebles y parque; frutos y follaje para forraje; alimentos; medicinas; y otros productos y servicios.

Las administraciones forestales, las organizaciones internacionales y los particulares, siguen promocionando y plantando especies del género, con fines tanto productivos como de protección. Hay muchos casos de plantaciones de significación donde los propietarios reportan sólo diversos beneficios del recurso creado. En consecuencia varias especies del género continúan siendo consideradas y difundidas como especies multipropósito valiosas para zonas áridas y semiáridas.

LAS LEGUMINOSAS

Las leguminosas (*Leguminosae*) o fabáceas (*Fabaceae*) (ICBN, 2005) son una amplia familia de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, que fácilmente son reconocidas por sus frutos tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas. Es una familia de distribución cosmopolita con más de 700 géneros y más de 19.000 especies, lo que la convierte en la tercera familia con mayor riqueza de especies después de las compuestas (*Asteraceae*) y las orquídeas (*Orchidaceae*) (Stevens, 2001).

A esta familia corresponde alrededor del 16% de las especies arbóreas de los bosques lluviosos neotropicales, es la familia más representada en los bosques tropicales lluviosos y en los bosques secos de América y África (Burnham and Johnson, 2004. en Wikipedia, 2010), y está subdividida en tres subfamilias; *Caesalpinioideae*, *Mimosoideae* y *Faboideae* (*Papilionoideae*), siendo las dos últimas las que concentran la mayor riqueza de especies

Las leguminosas presentan una gran variedad de hábitos de crecimiento, desde arbóreo,

arbusculo y herbáceo hasta enredaderas herbáceas y lianas. En el caso de las herbáceas, estas pueden ser anuales, bianuales o perennes. Las hojas son casi siempre alternas y con estípulas, persistentes o caducas, generalmente compuestas, pinnadas o bipinnadas, digitadas o trifoliadas, a veces aparentemente simples unifoliadas o ausentes, caso en el que los tallos se han transformados en filodios. Es frecuente la presencia de espinas por transformación del raquis de las hojas, de las estípulas o del tallo.

Las raíces presentan un predominio del sistema primario que proviene de la radícula del embrión, son a menudo profundas y casi siempre tienen nódulos poblados de bacterias del género *Rhizobium*, que asimilan el nitrógeno atmosférico y lo fijan en el suelo. Las flores son desde pequeñas a grandes, actinomorfas en el caso de las *Mimosoideas*, a leves o profundamente cigomorfas como en las *Faboideas* o *Papilionoideas* y en la mayor parte de las *Caesalpinioideas*. Las flores son solitarias o pueden disponerse en diversos tipos de inflorescencias, como racimos terminales o axilares, cabezuelas y umbelas.

El fruto de las leguminosas, legumbre, deriva de un ovario compuesto por un sólo carpelo que en la madurez se abre longitudinalmente en dos valvas, su dehiscencia ocurre por la nervadura media y por la unión carpelar. Sin embargo, existe una gran variedad de formas y tamaños de frutos en la familia, hay especies con frutos con tendencia a la indehiscencia, en otros casos el cáliz se transforma en una estructura de dispersión. Una liana tropical centroamericana (*Entada gigas*) produce una legumbre que llega a medir hasta 1,5 m de longitud, en tanto que la especie sudamericana *Tipuana tipu* ha modificado parte de la pared del fruto transformándolo en una sámara que es distribuida por el viento. Las semillas acumulan en los cotiledones almidón y proteínas, a veces aceites o aceites y proteínas. Lo más característico es la presencia de grandes cotiledones ricos en reservas, a menudo oleaginosas.

Caesalpinioideas: Son árboles y arbustos, a veces hierbas o trepadoras. Las hojas son pinnadas o bipinnadas. Habitan preferentemente en las regiones cálidas, y están muy bien representadas en las regiones tropicales de África y América, donde son especies a menudo gigantescas.

La subfamilia está compuesta por 160 géneros y aproximadamente 1.930 especies. Los géneros más representados son *Senna*¹ (350 especies), *Chamaechrista* (265) y *Caesalpinia* (100).

Especies predominantemente tropicales, especialmente en África y América (Stevens, 2001). Es la subfamilia más primitiva, en ella se encuentran árboles como tara (*Caesalpinia spinosa*), árbol de Judea (*Cersis siliquastrum*), parkinsonia o palo verde (*Parkinsonia aculeata*), árbol de las tres espinas (*Gleditsia triacanthos*) y algarrobo europeo (*Ceratonia siliqua*).

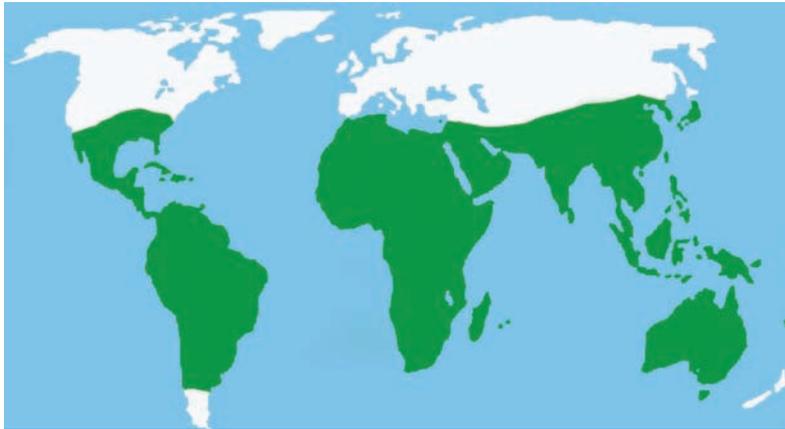
Mimosoideas: Son árboles o arbustos, rara vez hierbas, de follaje grácil por sus hojas bipinnadas, raramente pinnadas o reducidas a filodios. En muchos casos

1-Originalmente para Linnaeus en *Species Plantarum* (1753), lo que hoy se conoce como *Senna* y *Chamaecrista* correspondía al género *Cassia*. Philip Miller separó *Senna de Cassia* en 1754 en la cuarta edición de *The Gardeners Dictionary*. Hoy muchos autores, siguiendo a Linnaeus, no reconocen los géneros *Senna* y *Chamaecrista* y los incluyen en *Cassia*. Esta situación hasta ahora no está resuelta.

son espinosos y de aspecto muy particular por las pequeñas flores agregadas en cabezuelas o espigas.

Subfamilia formada por 82 géneros y unas 3.275 especies. Los géneros con mayor cantidad de especies son *Acacia* (960 especies), *Mimosa* (480), *Inga* (350), *Calliandra* (200), *Vachellia* (antes *Acacia*²) (161), *Senegalia* (antes *Acacia*) (85), *Prosopis* (45) y *Pithecellobium* (40).

Géneros principalmente de clima tropical y templado cálido, especialmente en África y América (Stevens, 2001). En esta subfamilia se encuentra un gran número de árboles y arbustos de zonas áridas y semiáridas, como las acacias o *Wattles* de Australia y los árboles paraguas de África (*Acacia* spp.), y los Algarrobos de Suramérica y los mesquites de Norteamérica (*Prosopis* spp.).



(Adaptado de Vester 1940; Maslin *et al.* 2003. Cit. por Stevens, 2001)

Figura N° 1

DISTRIBUCIÓN SUBFAMILIA MIMOSOIDEAS

Faboideas (Papilionoideas): Son árboles, arbustos, trepadoras leñosas o herbáceas perennes o anuales. Las hojas son, por lo general, pinnadas o digitadas, frecuentemente trifoliadas, algunas veces unifoliadas y hasta nulas, pero nunca bipinnadas. Las flores se disponen en racimos, panojas, capítulos o espigas.

Es la división más grande y diversa de la familia. Se extiende por todos los continentes excepto las regiones árticas e incluye la mayoría de las leguminosas más populares utilizadas como alimento o forraje.

Subfamilia representada por 476 géneros y alrededor de 13.855 especies. Los géneros más representados son *Astragalus* (2400 a 3270 especies), *Indigofera* (700), *Crotalaria* (700),

2-Hay una larga discusión entre los botánicos; los especialistas australianos y africanos se han opuesto a segregar nuevos géneros desde *Acacia* para no cambiar el nombre a sus tradicionales acacias. Al haberse impuesto la segregación de *Vachellia* y *Senegalia*, se ha conservado el nombre acacia para la mayoría de las australianas, pero ha cambiado el de muchas otras del resto del mundo, y el género *Acacia* ha reducido su número de especies de más de 1.300 a 960.

Mirbelia (450) y otras, entre las que se encuentran *Adesmia* (240), *Trifolium* (240), *Lupinus* (200), *Erythrina* (110), *Genista* (90), *Medicago* (85), *Cytisus* (65), *Phaseolus* (60), *Psoralea* (50) y *Sophora* (50) (Stevens, 2001).

Géneros especialmente de clima templado y templado cálido, pero distribuido en todo el mundo (Stevens, 2001). Esta subfamilia incluye muchas leguminosas anuales de importancia económica como poroto (*Phaseolus vulgaris*), soya (*Glycine max*), alfalfa (*Medicago sativa*) y otras, y algunas leguminosas arbóreas como acacia falsa (*Robinia pseudoacacia*).



(Adaptado de Vester 1940; Meusel *et al.* 1965; Hultén 1971. Cit. por Stevens, 2001)

Figura N° 2
DISTRIBUCIÓN SUBFAMILIA FABOIDEAS

La cantidad de especies que la componen, la gran variedad de productos que estas ofrecen, en forma natural o bajo cultivo, y su distribución cosmopolita otorgan a la familia una gran importancia económica, en términos de alimentos, forraje, dendroenergía, protección y mejoramiento de suelos, ornamentación y una cantidad de productos industriales, como madera, celulosa, gomas, tinturas, curtientes, aceites y muchos otros.

EL GÉNERO *PROSOPIS* – SUBFAMILIA *MIMOSOIDEAS*

Los géneros *Prosopis* y *Acacia* contienen algunas de las especies más importante y de más amplia distribución en las zonas áridas y semiáridas tropicales y subtropicales del mundo. Se estima que especies de estos dos géneros ocupan unos 310 millones de hectáreas (Griffith, 1961. Cit. por Pasiecznik *et al.*, 2001).

El nombre *Prosopis* fue dado al género por Linnaeus³ en 1767 para describir la única especie que en el momento conocía, *Prosopis spicigera* Linnaeus, hoy sinónimo con *Prosopis cineraria* (L.) Druce, la especie tipo del género.

3- Carlos Linneo (Råshult, Suecia, 23 de mayo de 1707 - Uppsala, 10 de enero de 1778). Científico, naturalista, botánico y zoólogo sueco que sentó las bases de la taxonomía moderna.



Figura N° 3
***Prosopis cineraria* QATAR, GOLFO PÉRSICO**

Las especies del género son árboles y arbustos semidecíduos, fijadores de nitrógeno, muy resistentes a sequía, calor, salinidad y alcalinidad, arena en movimiento, pastoreo y sucesivas cortas, muchas de ellas también al frío, características que las hacen particularmente valiosas en zonas áridas y semiáridas (Beresford-Jones, 2004). Se agrega a esto que la semilla contenida en los frutos consumidos por los animales resiste el paso por el tracto digestivo, donde los ácidos gástricos ablandan la testa, confiriéndole un tratamiento pregerminativo que la deja en condiciones de germinar de inmediato, cuando es expulsada con las fecas, si encuentra condiciones favorables de suelo y humedad.

Burkart (1976) señala que las especies del género son todas árboles o arbustos, raramente sub arbustos, de tamaño variable, xerófitos, espinosos o raramente sin espinas.

Las hojas son bipinnadas con pocos pares de pinnas opuestas, los folíolos son pequeños, numerosos, principalmente opuestos, lineares, oblongos, fusiformes y de igual color por ambos lados. La nervadura es pinnada y no muy prominente. Los brotes en la mayoría de las especies son dimórficos con largos megablastos, flexibles y se tornan nudosos con la edad. Braquiblastos o cortos brotes emergen desde múltiples yemas axilares y desde estos se desarrollan (cuando existen) también las espinas (Pasiecznik *et al.*, 2001).

Las flores son pequeñas, actinomorfas y hermafroditas, el cáliz es campanulado, la corola tiene pétalos lineares fusionados o más o menos libres, glabros o pubescentes. El androceo tiene 5+5 estambres libres, las anteras son elípticas y los granos de polen son simples, grandes o pequeños. Los racimos son puntiagudos, amentiformes, axilares, en la mayoría de los casos densos, pero en algunos casos en cabezas globosas.

El fruto es una legumbre carnosa, indehisciente, lineal, angosta, falcada, anular a enrollada en espiral, con un mesocarpo carnoso, azucarado, fibroso y dividido en segmentos coriáceos de una semilla. Las semillas son ovoides, duras, café, con un endosperma mucilaginoso rodeando el embrión. Los cotiledones son planos, redondeados y epigeos en la germinación.

Clasificación Taxonómica

Burkart (1976) reconoce y describe en el género 44 especies y las agrupa en 5 Secciones que se diferencian básicamente por la presencia, tipo y distribución de espinas.

La distribución natural del género es predominantemente americana, con 40 especies, pero está presente también en Asia, con tres especies, y en África, con una. A través de esta amplia distribución los nombres vernáculos locales son muy variados, pero los más comunes son algarrobo en Sudamérica y Mesquite (inglés) o mezquite (español) en Norteamérica. Algunas especies reciben también los nombres Screwbeanm, tornillo o mastuerzo, en América, debido a sus legumbres enrolladas en densas espirales (Pasiecznik *et al.*, 2001).

Familia: *Leguminosae* o *Fabaceae*

Sub Familia: *Mimosoideae*

Género: *Prosopis* (L.)

I. Sección *Prosopis*. Arbustos o pequeños árboles, con espinas internodulares. SW de Asia y N de África. 3 especies.

P. cineraria (L.) Druce

P. farcta (Solander ex Russell) Mac Bride

var. *farcta*

var. *glabra* Burkart

P. koelziana Burkart



Prosopis farcta

II. Sección *Anonychium*. Árboles sin espinas. África Tropical. 1 especie.

P. africana (Guill., Perr. & Rich.) Taubert



Prosopis africana

III. Sección *Strombocarpa*. Árboles y arbustos con espinas foliares, estípulas lignificadas, rectas, en pares divergentes, tamaño variable. 9 especies.

Serie *Strombocarpae*. SW de USA y desde México hasta Chile. 7 especies

- P. strombulifera* (Lam.) Benth
- var. *strombulifera*
- var. *ruiziana* Burkart
- P. reptans* Benth
- var. *reptans*
- var. *cinerascens* (A. Gray) Benth
- P. abbreviata* Benth
- P. torquata* (Cavanilles ex Lagasca) DC.
- P. pubescens* Benth
- P. palmeri* S.Watson
- P. burkartii* Muñoz



Prosopis pubescens

Serie *Cavenicarpae*. Sudamérica. 2 especies

- P. ferox* Grisebach
- P. tamarugo* F.Philippi



Prosopis ferox

IV. Sección *Monilicarpa*. Espinas axilares, solitarias, pequeñas. W de Argentina. 1 especie.

P. argentina Burkart

V. Sección *Algarobia*. Árboles, arbustos, raramente subarbustos, con espinas, raramente sin ellas. Espinas caulinares, axilares uninodales, solitarias o frecuentemente en pares. Zonas más cálidas y secas de América. 29 especies.

Serie *Sericanthae*. Con espinas axilares y terminales. Argentina y Paraguay. 2 especies.

- P. sericantha* Gillies ex Hooker & Arnott
- P. kuntzei* Harms



Prosopis kuntzei

Serie Ruscifoliae. Con espinas axilares, uninodales, solitarias. Chaco Argentina y Paraguay. 4 especies.

P. ruscifolia Grisebach
P. fiebrigii Harms
P. vinalillo Stuckert
P. hassleri Harms
 var. *hassleri*
 var. *nigroides* Burkart



Prosopis vinalillo

Serie Denudantes. Espinas axilares, uninodales, siempre solitarias. SW de Argentina, Patagonia, Cuyo. 4 especies.

P. denudans Benth
 var. *denudans*
 var. *patagonica* (Spegazzini) Burkart
 var. *stenocarpa* Burkart
P. ruizleali Burkart
P. castellanosii Burkart
P. calingastana Burkart



Prosopis denudans var. *patagonica*

Serie Humiles. Espinas axilares, uninodales. Centro de Argentina y Paraguay. 2 especies.

P. humilis Gillies ex Hooker & Arnott
P. rojasiana Burkart



Prosopis humilis

Serie *Pallidae*. Espinas axilares uninodales. México a Argentina. 7 especies.

- P. rubriflora* E. Hassler
- P. campestris* Grisebach
- P. pallida* (Humboldt & Bonpland ex Willd.)
H.B.K.
- P. affinis* Sprengel
- P. articulata* S.Watson
- P. elata* (Burkart) Burkart
- P. tamaulipana* Burkart



Prosopis pallida

Serie *Chilenses*. Espinas axilares uninodales, rara vez alternas. SW de USA y México hasta Chile, Argentina y Uruguay. 11 especies.

- P. chilensis* (Molina) Stuntz emend. Burkart
 - var. *chilensis*
 - var. *riojana* Burkart
 - var. *catamarcana* Burkart
- P. juliflora* Swartz DC.
 - var. *juliflora*
 - var. *inermis* (H.B.K.) Burkart
 - var. *horrida* (Kunth) Burkart
- P. nigra* (Grisebach) Hieronymus
 - var. *nigra*
 - var. *ragonesei* Burkart
 - var. *longispina* Burkart
- P. caldenia* Burkart
- P. laevigata* (Humboldt & Bonpland ex Willd.) M.C. Johnston
 - var. *laevigata*
 - var. *andicola* Burkart
- P. flexuosa* DC.
 - forma *subinermis* Burkart
- P. glandulosa* Torrey
 - var. *glandulosa*
 - var. *torreyana* (Benson) Johnston
 - var. *prostrata* Burkart
- P. alpataco* R.A. Philippi
- P. alba* Grisebach
 - var. *alba*
 - var. *panta* Grisebach
- P. velutina* Wooton
- P. pugionata* Burkart



Prosopis laevigata

Distribución Geográfica

La distribución natural del género incluye las zonas áridas y semiáridas de América, África y Asia, este rango de dispersión natural puede ser en forma aproximada dividido en cinco regiones, identificadas simplemente como Asia, África, Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica. Si bien hay cierto traslape, cada una de estas regiones es geográficamente diferente (Pasiiecznik *et al* 2001).

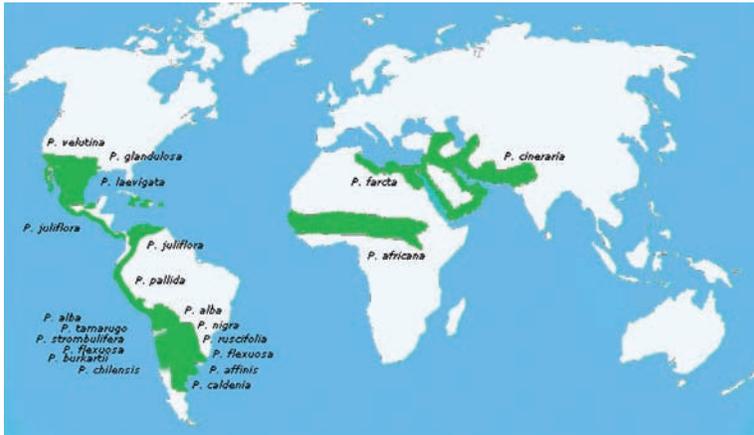
Las especies de Asia de la Sección *Prosopis*; *P. cineraria*, *P. farcta* y *P. koelziana*, son nativas del Medioeste, extendiéndose al este hacia India, al norte hacia Georgia y Turkmenistan y al oeste hacia Argelia a lo largo de la costa del norte de África.

Prosopis africana, la especie única de la Sección *Anonychium*, es nativa de la región de Sahel, desde Senegal en el oeste hasta Sudán y Kenya en el este. No hay sobreposición entre la distribución de *Prosopis africana* y la de las otras especies del Viejo Mundo.

Las restantes 40 especies, de las secciones *Strombocarpa*, *Monilicarpa* y, principalmente, *Algarobia*, son nativas de América donde se pueden definir tres áreas geográficas; Norte de México y USA, Argentina y países vecinos, y una zona central intermedia. Esta última está poblada principalmente por *Prosopis juliflora* y *P. pallida*, ocupando el norte de Sudamérica, el sur de Centroamérica y El Caribe. Sin embargo, los extremos norte y sur de esta zona intermedia no están bien definidos y puede existir cierta sobreposición con las otras dos áreas.

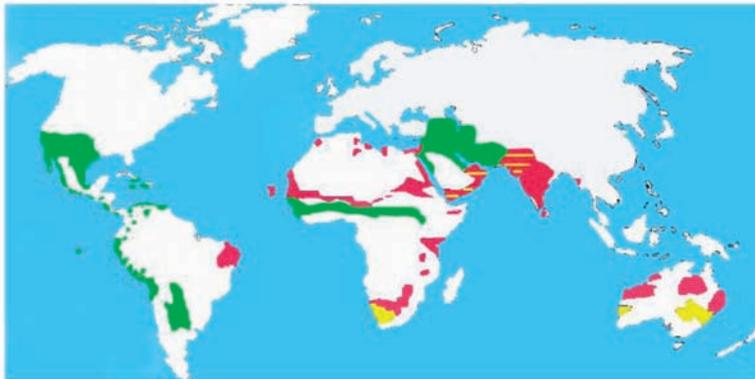
Latitudinalmente, las especies de *Prosopis* en América se distribuyen aproximadamente entre 37° LN en USA y 48° LS en Argentina.

Sin embargo, la influencia humana, a través de la introducción de especies más allá de sus áreas de distribución natural y de la deforestación por sobreuso, incendios y expansión de las fronteras agrícolas durante los últimos 500 años, sumada al agresivo comportamiento invasivo de algunas especies, han alterado significativamente la distribución global del género. En las Figuras N°s 4 y 5 se indica la distribución natural del género y la distribución actual, respectivamente.



(Adaptado de Pasiecznik et al., 2001)

Figura N° 4
DISTRIBUCIÓN NATURAL GÉNERO PROSOPIS
Y PRINCIPALES ESPECIES



● Nativo ● Introducido *P. juliflora* - *P. pallida* ● Introducido *Prosopis* spp.

(Adaptado de Pasiecznik et al., 2001)

Figura N° 5
DISTRIBUCIÓN ACTUAL GÉNERO PROSOPIS
Y PRINCIPALES ESPECIES

Las especies del género varían desde arbustos, de 1, 2 ó 3 m de altura, hasta árboles que pueden superar los 20 m de altura, la mayoría son resistentes a frío, a salinidad en el suelo y a sequía, y soportan también sucesivas cortas. Su madera es en general densa a muy densa y de elevado poder calorífico, lo que la hace interesante para productos madereros, en el caso de las especies mayores, y para combustible, como leña y carbón, en las menores. Proveen también de una variedad de productos no madereros, como alimento, forraje, mieles, taninos, tintes, ceras, gomas y compuestos medicinales.

Estas características hacen de los algarrobos y mezquites especies muy interesantes, lo que ha llevado a su sobre utilización en sus áreas de origen, a su reintroducción en éstas via plantación y a su introducción fuera de sus regiones de distribución natural en distintos lugares del mundo. Esta última práctica tiene en muchas ocasiones muy buenos resultados, en términos de crear importantes recursos en nuevas áreas, pero en otras, dependiendo de las especies, de la evaluación del proceso de introducción y de las condiciones de sitio y el manejo en las zonas de destino, se puede obtener una diseminación descontrolada de algunas especies que tienen un agresivo hábito invasor.

Pasiecznik *et al.* (2001) resumen algunas características principales de las especies del género, destacando 21 de ellas que pueden lograr alturas máximas por sobre los 7 m, descartando así las arbustivas menores (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DEL GENERO PROSOPIS

Especie	Altura Máxima (m)	Espinas (mm)	Resistencia Frio (1) (°C)	Resistencia Salinidad	Hábito Invasor
<i>P. alba</i>	15	0 a 40	- 5 a -15	M	M
<i>P. africana</i>	20	-	-5	M	N
<i>P. affinis</i>	8	3 a 25	- 5 a -15	M	M
<i>P. caldenia</i>	12	5 a 25	-15	N	A
<i>P. chilensis</i>	10	0 a 60	-15	A	A
<i>P. cineraria</i>	7	3 a 8	-15	A	M
<i>P. flexuosa</i>	10	0 a 40	- 5 a -15	M	M
<i>P. fiebrigii</i>	15	2 a 10	- 5 a -15	M	N
<i>P. glandulosa</i>	9	10 a 45	-15	A	A
<i>P. hassleri</i>	10	-	- 5 a -15	M	N
<i>P. juliflora</i>	12	0 a 50	-5	A	A
<i>P. kuntzei</i>	10	80 a 500	- 5 a -15	M	M
<i>P. laevigata</i>	7	5 a 25	-15	A	M
<i>P. nigra</i>	10	0 a 35	- 5 a -15	A	M
<i>P. pallida</i>	20	0 a 40	-5	A	A
<i>P. pubescens</i>	10	2 a 20	-15	M	M
<i>P. pugionata</i>	8	20 a 95	- 5 a -15	M	M
<i>P. ruscifolia</i>	12	10 a 330	- 5 a -15	A	A
<i>P. tamarugo</i>	18	5 a 38	- 5 a -15	A	N
<i>P. velutina</i>	15	10 a 20	-15	M	A
<i>P. vinalillo</i>	10	5 a 120	- 5 a -15	M	M

N: No M: Moderado A: Alto
 (1): Rangos aproximados, pero depende de la temperatura mínima absoluta, la duración de esta mínima y el tiempo bajo 0 °C.
 (Fuente: Adaptado de Pasiecznik et al., 2001)

- Deforestación

Información de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2010) señala que la cubierta forestal mundial es de algo más de 4 mil millones de hectáreas, pero que el mundo pierde anualmente 13 millones de hectáreas de bosques, principalmente por el avance de las fronteras agrícolas sobre bosques tropicales, pero también debido a incendios y a sobre explotación. Esta preocupante cifra corresponde al decenio 2000 - 2010, sin embargo los países están desplegando esfuerzos para reducir la deforestación, durante la década anterior la tasa de pérdida de bosques era de 16 millones de hectáreas.

Por su parte las plantaciones forestales a gran escala han aumentado, reduciendo las pérdidas netas globales de cubierta forestal, que en el período 1990-2000 eran de 8,2 millones de hectáreas anuales y en el decenio siguiente 2000-2010 bajan significativamente a 5,3 millones de hectáreas por año.

Las formaciones boscosas de especies del género *Prosopis* no han sido la excepción en los procesos de deforestación en el mundo, tanto en América del Norte como en Sudamérica han sido desplazadas por cultivos agrícolas, han sido intensamente explotadas para madera, combustible y otros productos, y han sufrido selección genética negativa (disgenia) producto del "floreo" (explotación de los mejores ejemplares).

Se estima que en Argentina las formaciones naturales originales de *Prosopis* se han reducido por acción antrópica entre un 50 y un 75% desde el año 1500 (D'Antoni and Solbrig 1977. Cit. por Pasiecznik *et al.*, 2001). En África, los *Prosopis nativos* ya raramente se pueden encontrar en rodales puros y en los ecosistemas de sabana, de los que forman parte, se han extendido las tierras desérticas de norte a sur, en tanto de sur a norte existe una permanente presión ejercida por las actividades agrícolas y ganaderas, incrementada por el interés por la madera y combustible que los bosques pueden entregar. Adicionalmente, la extracción de agua por el hombre ha provocado el descenso de las napas freáticas conduciendo a la muerte de los bosques en zonas del centro de África. En Asia también se registran pérdidas de formaciones naturales de *Prosopis*, debidas principalmente a la demanda por combustible (ICFRE, 1993; von Maydell, 1986. Cit. por Pasiecznik *et al.*, 2001).

- Introducción de Especies

La introducción de especies, mediante plantaciones fuera de sus regiones de distribución natural con el objeto de crear recursos productivos, proteger suelos o simplemente con fines ornamentales, ha sido una práctica histórica del ser humano. En sus inicios el desplazamiento de las especies era accidental, como resultado de semillas que transportaban pueblos trashumantes, pero posteriormente la introducción de especies fue intencionada siguiendo objetivos definidos y para satisfacer necesidades específicas.

Como ya se comentó en puntos anteriores, en el caso de África se han introducido especies de *Prosopis* en 25 países, abarcando todas las regiones del continente (Pasiecznik *et al.*, 2001), y algo semejante ha ocurrido en Asia, Islas de Hawaii, islas Marquesas, Filipinas y

Australia, además de plantaciones con especies nativas en América, como el caso de *Prosopis tamarugo*, *P. alba* y *P. chilensis*, en el norte de Chile (Burkart, 1976).

La mayoría de las introducciones de especies del género se han efectuado con *Prosopis juliflora*, *P. pallida*, *P. glandulosa* y *P. velutina*, las dos primeras en zonas tropicales y las dos últimas en zonas subtropicales. *Prosopis alba* y *P. chilensis* han mostrado buena adaptación en diferentes regiones, en tanto que especies como *Prosopis cineraria*, *P. pubescens* y *P. tamarugo* han sido ampliamente introducidas en diferentes regiones con negativos resultados, raramente sobreviven.

- Especies Invasoras

Como ya se ha mencionado, varias especies del género pueden ser invasivas y algunas de ellas son agresivamente invasoras bajo condiciones favorables para su diseminación.

Algunas especies muestran un comportamiento invasivo en sus zonas de origen, colonizando zonas alteradas por incendios, sobre explotación u otras causas, aspecto que debió tomarse en consideración antes de introducirlas en otras áreas. Es el caso de las cuatro especies del género con las cuales se han realizado la mayoría de las introducciones.

Pasiecznik *et al.* (2001) indican las principales especies invasoras en sus regiones de origen y en las de introducción (Cuadro N° 2). Las cuatro especies más difundidas se han transformado en malezas en algunas zonas en donde han sido introducidas.

La gran cantidad de semillas que producen, su capacidad para resistir prolongados períodos secos, sus raíces pivotantes que pueden alcanzar napas subterráneas a más de 10 m de profundidad en algunos casos y su potencial de recuperación después de sucesivas cortas, permiten a estas especies, si no se las maneja, avanzar sobre terrenos despejados por incendios y explotación de bosques naturales o deforestados para uso agrícola y ganadero, constituyendo densas formaciones espinosas, que impiden el desarrollo de pastos y el ingreso de ganado, y que resultan muy difíciles de controlar o erradicar.

Es así como varias especies del género están hoy incorporadas en las listas de malezas invasoras indeseables en diferentes países del mundo, como Australia, Argentina, USA, Kenya, Etiopía, Sudán y otros.

**Cuadro N° 2
ESPECIES DEL GÉNERO PROSOPIS QUE MUESTRAN HÁBITO INVASOR EN SUS
REGIONES DE ORIGEN
Y EN REGIONES EN QUE SE LAS HA INTRODUCIDO**

Especie	Regiones de Origen	Regiones de Introducción
<i>P. affinis</i>	Argentina, Uruguay	
<i>P. caldenia</i>	Argentina	
<i>P. campestris</i>	Paraguay	
<i>P. cineraria</i>	Pakistán	
<i>P. farcta</i>	Israel, Jordán, Siria, Arabia, Irán, Turquía	
<i>P. glandulosa</i>	USA, México	Australia, Sudáfrica, Namibia
<i>P. hassleri</i>	Argentina	
<i>P. humilis</i>	Argentina	
<i>P. kuntzei</i>	Argentina	
<i>P. juliflora</i>	Venezuela, Colombia	Sudan, Eritrea, Iraq, Pakistan, India, Australia, Sudáfrica, Islas del Caribe y del Atlántico
<i>P. nigra</i>	Argentina	
<i>P. pallida</i>		Australia, Hawai
<i>P. pubescens</i>	USA	
<i>P. ruscifolia</i>	Argentina, Paraguay	
<i>P. velutina</i>	USA	Australia, Sudáfrica

(Fuente: Pasiecznik et al., 2001)

EL GÉNERO PROSOPIS EN CHILE

Chile presenta una extensa zona árida desértica en el norte, Regiones de Arica a Atacama, donde solo es posible la vida vegetal en zonas de valles transversales, en sectores en los que hay napas subterráneas relativamente cercanas a la superficie y en áreas de precordillera andina y altiplano.



**Figura N° 6
REGIONES DE CHILE**

Hacia el sur se encuentra una zona semiárida, que ocupa las Regiones de Coquimbo a Maule, en donde las precipitaciones anuales varían aproximadamente de 80 mm en el norte a algo más de 700 mm en el sur, fuertemente concentradas en invierno y con un período seco que oscila entre 8 y 5 meses. Más al sur las precipitaciones aumentan a través de una zona templada lluviosa y en el extremo sur las condiciones son de clima templado frío y semiárido.

Especies

Las especies del género *Prosopis* ocurren naturalmente en el país en las zonas áridas y semiáridas y están presentes desde la Región de Arica hasta la Región Metropolitana. En la zona árida prosperan solo asociadas a valles o a sectores con napa freática alta.

En Chile se encuentran seis especies del género; *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa*, *P. alba*, *P. strombulifera*, *P. tamarugo* y *P. burkartii*, todas ellas nativas y las dos últimas endémicas (Burkart, 1976; Muñóz, 1971 Cit. por Barros y Wrann, 1992).

La Enciclopedia de la Flora Chilena (en línea) y Muñóz (1971, cit por Barros y Wrann, 1992) incluyen entre las especies nativas en Chile a *Prosopis alpataco*, sin embargo Burkart (1976) indica que corresponde a *Prosopis flexuosa*.

Tres de las especies corresponden a la Sección *Strombocarpa* y las tres restantes a la Sección *Algarobia*, una especie endémica en cada Sección.

Sección *Strombocarpa*

Serie *Strombocarpae*

- *Prosopis strombulifera* var. *strombulifera* "Retortón"

Arbusto espinoso de 0,15 a 1,5 m de altura, follaje pequeño, ramas flexibles, estípulas espinosas rectas de 0,1 a 2 cm de largo, pinas de 1 a 3 cm con 3 a 8 pares de folíolos alternos a opuestos de 2 a 9 mm de largo y 0,8 a 2 mm de ancho. Frutos color amarillo limón cuando maduros, 1,8 a 5,2 cm de largo por 0,6 a 1 cm de diámetro, espiralados. Semillas ovaladas de 4,5 a 5,4 mm de largo, verde grisáceas (Burkart, 1976).

Distribución natural: W de Argentina, N de Chile y S de Perú.

Distribución natural en Chile: Regiones de Arica a Coquimbo



- *Prosopis burkartii*

Arbusto rastrero de 0,5 a 1,5 m de altura, con largas, densas e intrincadas ramas, estípulas espinosas de 0,5 a 3 cm de largo. Pinas de 2 cm de largo con 7 a 12 pares de folíolos elípticos, oblongos, de 4 a 7 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho. Legumbres espiraladas, 2 a 3 espirales, color café. Semillas de 5,2 mm de largo por 4 mm de ancho (Burkart, 1976).

Distribución natural: N de Chile. Pampa del tamarugal. Especie endémica.



Serie *Cavenicarpae*.

- *Prosopis tamarugo* “Tamarugo”

Árbol de hasta 18 m de altura, estípulas espinosas de 0,5 a 3,8 cm de largo, pinas de 3 a 4 cm con 10 a 15 pares de folíolos lineales, obtusos de 4 a 8 mm de largo. Legumbres amarillo paja o café claro, anulares, 2 a 3,5 cm de diámetro o menos y 7 a 10 mm de espesor. Semillas ovales, color café, de 3 a 4,3 mm de largo (Burkart, 1976).

Distribución natural: Chile. Pampa del Tamarugal Región de Tarapacá, sectores del sur de la Región de Arica y del interior de la Región de Antofagasta. Especie endémica.



Sección *Algarobia*.

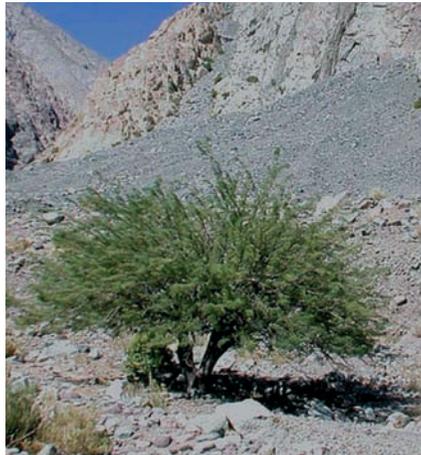
Serie Chilenes.

- *Prosopis chilensis* var. *chilensis* “Algarrobo Chile no”

Árbol de tronco corto, 3 a 10 m, puede alcanzar 14 a 15 m altura total y diámetros de más de 1 m. Copa redonda, ramas flexibles, nudosas, parcialmente espinosas, espinas fuertes, axilares, uninodales, de hasta 6 cm. Hojas deciduas o semi deciduas, pinas de 8 a 24 cm de largo con 10 a 19 pares de folíolos largos de 1,1 a 5,4 cm de largo por 1,1 a 3 cm de ancho, color verde pálido. Legumbres amarillas, lineares de 12 a 18 cm de largo, 1 a 1,8 cm de ancho y 0,6 cm espesor. Semillas ovoides, color café, 6 a 7 mm largo.

Distribución natural: Desde Perú y Bolivia a Chile central y NW de Argentina.

Distribución natural en Chile: Regiones de Atacama a Metropolitana.



- *Prosopis flexuosa* "Algarrobo"

Árbol o arbusto erecto ramificado, 3 a 10 m de altura, copa hemisférica con extremos de ramas péndulos, flexibles y nudosos. Espinas axilares, comúnmente pequeñas o ausentes, a veces fuertes de 3 a 4 cm de largo. Follaje claro, decíduo, abundante, pinas de 5 a 13 cm de largo, 12 a 29 pares de folíolos lineares, 4 a 15 mm por 1 a 2 mm. Legumbre casi recta, 5 a 28 cm de largo por 0,7 a 1,2 cm de ancho, con tintes violeta hasta negro violáceo.

Distribución natural: N de Chile y W de Argentina



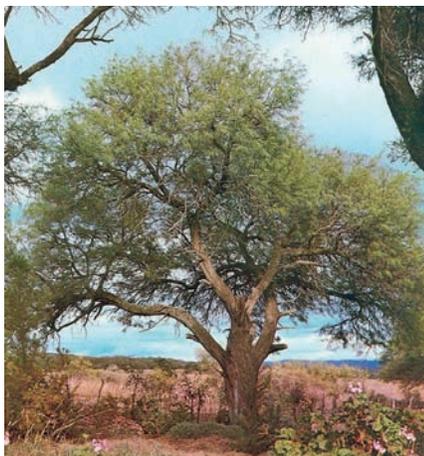
Distribución natural en Chile: Regiones de Atacama y Coquimbo.

- *Prosopis alba* var *panta* “Algarrobo”

Árbol de 5 a 15 m de altura, tronco corto, en estado adulto puede alcanzar 1 m de diámetro. Copa redondeada, ramas colgantes, espinas escasas y pequeñas, 2 a 4 cm de largo. Pinas de 6 a 4 cm de largo, con 25 a 50 pares de folíolos lineares de 0,5 a 1,7 cm de largo por 1 a 2 mm de ancho. Legumbre de forma falcada a anular, amarilla, 12 a 25 cm de largo, 11 a 20 mm ancho y 4 a 5 mm espesor (Burkart, 1976).

Distribución natural: Planos de Argentina subtropical a Uruguay, Paraguay, sur de Bolivia, Perú y norte de Chile.

Distribución natural en Chile: Regiones de Arica, Tarapacá y Antofagasta.



Superficie y Distribución de las Formaciones de *Prosopis* en Chile

Entre las Regiones de Arica y Metropolitana existen formaciones naturales y plantaciones forestales con especies del género. Barros y Wrann (1992), basados en trabajos de INFOR (1981; 1986) señalan que en el país hay un total de 50.439 ha de formaciones de *Prosopis* spp las cuales se distribuyen según región y tipo de bosque, como indica el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
SUPERFICIE FORMACIONES DE PROSOPIS
(1986)

Región	Superficie		
	Natural	Plantado	Total
	(ha)		
Tarapacá	3.465	23.153	26.618
Antofagasta	2.074	880	2.954
Atacama	766		767
Coquimbo	6.656	10	6.666
Valparaíso	1.616		1.615
Metropolitana	11.819		11.819
Total	26.396	24.043	50.439

(Fuente: Barros y Wrann, 1992)

INFOR (2009), entrega cifras más recientes (2008) para plantaciones de tamarugo y algarrobo, en las mismas regiones, que elevan la superficie total para este tipo de bosques a 25.799 ha y, consecuentemente, el total de *Prosopis* a 52.195 ha (Cuadro N° 4).

La diferencia corresponde a nuevas plantaciones realizadas en la Región de Tarapacá, a pérdidas probablemente por escasa supervivencia en plantaciones de la Región de Antofagasta y a plantaciones de algarrobo que anualmente se están estableciendo en la Región de Coquimbo.

Cuadro N° 4
PLANTACIONES DE PROSOPIS
(2008)

Región	Superficie (ha)
Tarapacá	23.881
Antofagasta	349
Atacama	425
Coquimbo	1.139
Valparaíso	
Metropolitana	5
Total	25.799

(Fuente: INFOR, 2009)

INFOR (2009) entrega también superficies actualizadas de bosques naturales para estas regiones, por un total superior a 200.000 ha, sin embargo están agrupadas por Tipo Forestal, en este caso Esclerófilo, que sólo en el caso de la Región de Tarapacá coincide con formaciones de *Prosopis* spp, hacia el sur, y en especial de Coquimbo al sur, se incorporan mayoritariamente otras especies en el tipo y las especies del género participan minoritariamente o no lo hacen.

Las especies que componen tanto los bosques naturales como los plantados son *Prosopis tamarugo*, *P. alba* y *P. chilensis*, las tres restantes; *Prosopis burkartii*, *P. strombulifera* y *P. flexuosa*, tienen presencia en sus áreas de distribución natural antes indicadas, pero no significación en las cifras de superficies.

Tomando las cifras de bosque natural del Cuadro N° 3 (INFOR, 1986) y las de bosques plantados del Cuadro N° 4 (INFOR, 2008), cifras de detalle por región (Barros y Wrann, 1992) y teniendo presente que la antigua I Región corresponde a lo que hoy son las Regiones de Arica y Tarapacá, se puede hacer una estimación muy general de la superficie de bosques naturales y plantados, por especie y región (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 5
SUPERFICIE BOSQUES NATURALES Y PLANTACIONES DE PROSOPIS SEGÚN REGIÓN Y ESPECIE

Región	Natural				Plantado				Total (ha)
	(ha)								
	<i>P. tamarugo</i>	<i>P. alba</i>	<i>P. chilensis</i>	Sub Total	<i>P. tamarugo</i>	<i>P. alba</i>	<i>P. chilensis</i>	Sub Total	
Tarapacá	3.295	113		3.407	20.635	3.246		23.881	27.288
Antofagasta		2.075		2.075	47	302		349	2.424
Atacama			767	767	12		413	425	1.192
Coquimbo			6.656	6.656			1.139	1.139	7.795
Valparaíso			1.616	1.616					1.616
Metropolitana			11.819	11.819			5	5	11.824
Total	3.295	2.187	20.857	26.339	20.694	3.548	1.557	25.799	52.138

(Fuente: Adaptado de Barros y Wrann, 1992 e INFOR, 2009)

Del Cuadro N° 5 se desprende que la superficie total por especie es la que se indica en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6
SUPERFICIE POR ESPECIE

Región / Comuna	Superficie por Especie			
	(ha)			
	<i>P. tamarugo</i>	<i>P. alba</i>	<i>P. chilensis</i>	Total
Tarapacá	23.929	3.359		27.288
Antofagasta	47	2.377		2.424
Atacama	12		1.180	1.192
Coquimbo			7.795	7.795
Valparaíso			1.616	1.616
Metropolitana			11.823	11.823
Total	23.988	5.736	22.414	52.138

Barros y Wrann (1992), sobre la base de información de INFOR (1981; 1986), señalan que *Prosopis tamarugo* está casi en su totalidad en la Región de Tarapacá, tanto en formaciones naturales como plantaciones, en las Comunas de Pozo Almonte y Huara.

Las principales concentraciones de bosques de *Prosopis alba* en el país están representadas por plantaciones en la Comuna de Pozo Almonte, Región de Tarapacá, y formaciones naturales en la Comuna de San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta.

Prosopis chilensis por su parte, con una distribución más amplia, muestra sus mayores expresiones en la Comunas de Alto del Carmen, Región de Atacama; Monte Patria y Combarbalá, Región de Coquimbo; Calle Larga, Región de Valparaíso; y Til Til y Colina, en la Región Metropolitana. Todo esto representado por bosques naturales, sólo en la Región de Coquimbo hay plantaciones de significación en términos de superficie (Cuadro N° 7).

Cuadro N° 7
PRINCIPALES CONCENTRACIONES DE FORMACIONES DE *PROSOPIS* EN CHILE

Región / Comuna	Principales Concentraciones de Prosopis			
	(ha)			
	<i>P. tamarugo</i>	<i>P. alba</i>	<i>P. chilensis</i>	Total
Tarapacá	22.860	3.136		25.996
Huara	4.312			4.312
Pozo Almonte	18.547	3.136		21.684
Antofagasta		1.890		1.890
María Elena		296		296
San Pedro de Atacama		1.594		1.594
Atacama			652	652
Copiapó			100	100
Vallenar			121	121
Alto del Carmen			431	431
Coquimbo			5.270	5.270
Vicuña			1.168	1.168
Monte Patria			1.939	1.939
Combarbalá			2.061	2.061
Illapel			101	101
Valparaíso			2.014	2.014
San Felipe			310	310
Calle Larga			1.229	1.229
Llay Llay			475	475
Metropolitana			11.117	11.117
Til Til			4.531	4.531
Colina			6.585	6.585
Total	22.860	5.026	19.052	46.938

Las 16 comunas administrativas mencionadas en el Cuadro N° 7 reúnen algo más del 90 % de la superficie de formaciones de *Prosopis* del país y sobre el 85 % de las superficies totales por especie.

Las Comunas de Huara y Pozo Almonte, en la Región de Tarapacá, concentran el 50 % de las formaciones de *Prosopis* del país, 29.996 ha, y el 95,3 % de los bosques de tamarugo, 22.860 ha. La Comuna de Pozo Almonte sostiene el 54,7 % de los bosques de *Prosopis alba*. Las formaciones naturales de *Prosopis chilensis* en tanto, se encuentran mayoritariamente en la Región Metropolitana, casi el 50 %, 11.117 ha.

En las Comunas de Huara y Pozo Almonte, Región de Tarapacá, se encuentra la Pampa del Tamarugal y una gran parte de las formaciones de *Prosopis* en ella existentes está dentro de la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal, unidad del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) administrada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Esta Reserva Nacional fue creada en el año 1987 y tiene una superficie total cercana a las 108.000 ha (CONAF, 1997) (Figura N° 7).

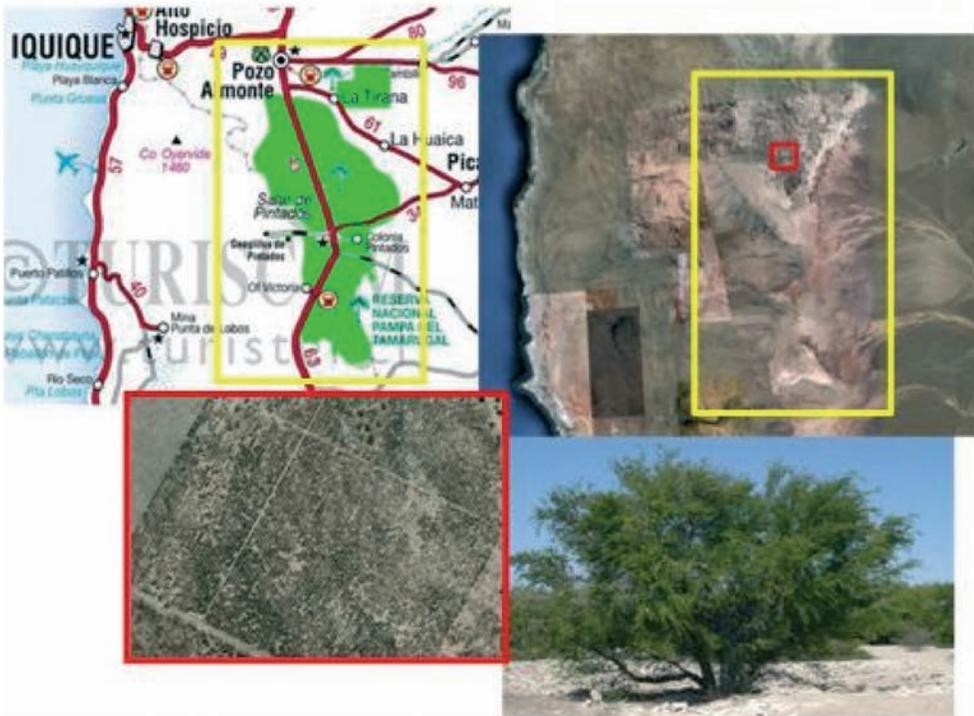
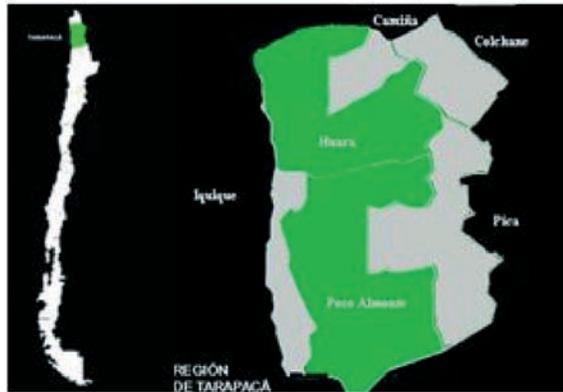


Figura N° 7
RESERVA FORESTAL PAMPA DEL TAMARUGAL, COMUNAS DE HUARA Y POZO
ALMONTE
REGIÓN DE TARAPACÁ

La Pampa del Tamarugal corresponde a una planicie ubicada en la Depresión Intermedia de la Región de Tarapacá, entre la Cordillera de Los Andes y la Cordillera de la Costa, desde los 19° 33' LS a los 21° 50' LS, a una altitud media de 1.200 msnm y con una pendiente media de 2 % de E a W (CONAF, 1997).

El clima en la Pampa del Tamarugal, de acuerdo a Köppen (1900), corresponde al tipo desértico (BW), aún cuando no corresponde a un desierto cálido debido a que la altitud de esta pampa interior actúa como un regulador de las temperaturas, cosa que se aprecia en temperaturas medias mensuales de los meses más cálidos en torno a 21 °C, con una marcada amplitud de oscilación diaria. Las temperaturas extremas absolutas se mueven entre - 12 °C en los meses más fríos y 36 °C en los más cálidos. El promedio de días despejados por año es 250. La humedad relativa es baja en el día, 10 a 30 %, pero en la noche puede subir a 90 % (niebla o "camanchaca"). Prácticamente no se registran precipitaciones.

La vegetación corresponde a Desierto del Tamarugal (Gajardo, 1994, Cit. por CONAF, 1997) y se distribuye en áreas donde la napa freática es relativamente superficial o reciben aluviones originados en la Cordillera de Los Andes por precipitaciones de verano ("invierno altiplánico"). Esta formación está constituida principalmente por *Prosopis tamarugo* y *P. alba*, en su mayoría plantaciones y en menor medida remanentes de bosques naturales de estas especies. La mayor parte de los bosques se encuentran en los Salares de Pintados, Bellavista y Zapiga y en los alrededores de La Huayca y La Tirana. Algunas especies acompañantes en estas formaciones son *Atriplex atacamensis* (cachiyuyo), *Caesalpinia aphylla* (retamo), *Tessaria absinthiodes* (brea), *Euphorbia tarapacana* y *Tagetes grandulosa*.

Las plantaciones más antiguas fueron efectuadas en los años 1930-1940 por un particular (Luis Junoy, empresario salitrero) y las mayores superficies fueron establecidas posteriormente por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), mediante un amplio programa de forestación desarrollado en el período 1963-1972. Las últimas plantaciones fueron efectuadas por CONAF entre los años 1983 y 1986 (CONAF, 1997).

El drenaje de los suelos es subterráneo, con la excepción de escurrimientos superficiales ocasionales originados en el invierno altiplánico. Este movimiento de aguas subterráneas se ve interrumpido por la Cordillera de la Costa provocando un ascenso de las napas, lo que sumado al flujo capilar hacia la superficie que provoca la alta evaporación en esta, pasando a través estratos ricos en sales, mantiene a los salares activos en materia de desarrollo del estrato superficial salino, altamente cementado y formado por cloruros, sulfatos y carbonatos.

Las formaciones naturales de esta zona fueron severamente explotadas en el pasado como combustible para la minería de plata en los Siglos XVIII y XIX y después para la industria del salitre (nitratos de sodio y potasio) que se extraía de los salares en el Siglo XIX e inicios del Siglo XX. La disponibilidad de aguas subterráneas permitió también actividades agrícolas, que a mitad del Siglo XIX y principios del Siglo XX llegó a ser bastante intensa, empleando el sistema de canchones, consistente en fajas de terrenos de los cuales se quitaba el estrato salino de la superficie para realizar los cultivos.

En el año 1963, CORFO dio inicio al Programa Forestal - Ganadero cuyo objetivo era establecer plantaciones y posteriormente sobre este recurso introducir razas ovinas,

bovinas y caprinas. Es así como entre los años 1965 y 1970 se plantan 13.814 ha, distribuidas en las localidades de Refresco, Salar de Bellavista y Salar de Zapiga, y en 1970 ya se mantenía una masa ganadera de más de 4 mil cabezas de alrededor de 10 diferentes razas (CONAF, 1997).

A mitad de los años 70 este plan concluyó y finalmente, en 1983, CORFO traspasa a CONAF la administración de las plantaciones. CONAF entre los años 1983 y 1985 establece 750 ha adicionales de plantaciones y se da inicio a un sistema de arriendo de talaje, en parcelas de 100 ha para una carga admitida máxima de 100 ovinos ó 50 caprinos (CONAF, 1997), sistema que se mantiene hasta ahora en la Reserva Nacional creada en 1987, con ganaderos provenientes de la precordillera y altiplano y de la pampa misma, en su mayoría de origen aymara.

El manejo actual de la Pampa del Tamarugal intenta compatibilizar la actividad ganadera con un manejo forestal, que permita en forma sustentable producir leña, carbón y madera (mueblería, parqué). Se suman actividades de investigación, turismo y otras. No obstante, el recurso existente presenta ciertas limitaciones para los fines productivos, dados por la calidad de los árboles y su estado sanitario.

La técnica de plantación empleada consistía en un hoyo de profundidad variable, de acuerdo al espesor de la costra salina, al fondo del cual se instalaba más de una planta para asegurar la supervivencia, y posteriormente se aplicaba riego por algunos meses, dependiendo de la profundidad de la napa. Tiempo después, en muchos casos el salar se cierra nuevamente en torno al tronco, resultando en un árbol parcialmente enterrado y de varios fustes.

A lo anterior se agregan la mortalidad de ejemplares, el escaso crecimiento y la baja producción de frutos, problemas originados en el severo ataque de insectos sobre, flores, frutos y semillas, como la polilla del fruto de tamarugo (*Cryptophlebia saileri*), el bruco del tamarugo (*Scutobruchus gasto*) y el bruco de algarrobo (*Rhipibrucus picturatus*).

Estas situaciones limitan el manejo forestal, para productos de valor, y restringe el uso ganadero. Ejemplo de esto es que la carga autorizada actual para los ganaderos, de 1 cabeza por hectárea, dista mucho de la que se planteaba inicialmente el Plan de CORFO, que era de 4 a 10 ovinos por hectárea.

En las restantes áreas de distribución de las especies del género en el país, con la excepción de algunas plantaciones de *Prosopis alba*, en las Región de Antofagasta, y de *Prosopis chilensis*, en las Regiones de Atacama y Coquimbo, las formaciones corresponden a bosques naturales remanentes de procesos de deforestación provocados por la actividad minera y el sobrepastoreo en los siglos pasados, y están representadas normalmente por formaciones abiertas de *Prosopis chilensis*, de escasa densidad, que hoy en general están bajo ganadería extensiva y uso forestal ocasional regulado por el Estado.

ALGUNOS ANTECEDENTES DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO EN CHILE

En los primeros años de la década 1980-1990, INFOR desarrolló diversos estudios encargados por CORFO en la Pampa del Tamarugal. Barros y Wrann (1992) resumen algunos

antecedentes de crecimiento y producción en formaciones de tamarugos y algarrobos.

Parámetros Medios de Rodal

Del catastro realizado por INFOR (1981) se obtienen los parámetros medios de rodal que se indican en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8
PARÁMETROS MEDIOS DE RODAL EN FORMACIONES DE PROSOPIS

Formación	Altura (m)	Diámetro (cm)*	Densidad (arb/ha)	Diámetro Copa (m)	Fustes (N°)
Plantación <i>P. tamarugo</i>	7,1	9,8	54	8,1	6
Plantación <i>P. alba</i>	6,2	12,9	38	14,9	9
Plantaciones mixtas	8,9	19,5	23	16,4	6
Bosques naturales <i>P. tamarugo</i>	7,2	6,6	60	7,8	12

* A 1 m de altura

(Fuente: Barros y Wrann, 1992)

Dos tercios de las plantaciones están en sectores con la napa freática a profundidades de 6 a 12 m de profundidad y un tercio en sectores con napa de 0 a 10 m de profundidad. La edad predominante de las plantaciones es 10 a 15 años.

Relaciones entre Parámetros

Un muestreo en plantaciones de tamarugo, en sectores con napa a 2 a 10 m de profundidad, permitió construir funciones de altura, de las cuales se desprenden las siguientes estimaciones:

$$\text{Altura Total (m)} = - 1,2410 + 3,2548 * \ln \text{Edad (años)}$$

Relación que da aproximadamente 7 m a los 10 años, 10 m a los 35 años y 11 m a los 50 años.

$$\text{Altura total (m)} = - 6.7106 + 5,7086 * \ln \text{Diámetro (cm)}$$

Relación que da aproximadamente 18 cm de diámetro para 10 m de altura, 35 cm para 14 m.

$$\text{Altura Total (m)} = - 6,7252 + 3,6411 * \ln \text{Área Proyección Copa (m}^2\text{)}$$

Relación que da aproximadamente 26 m² para 5 m y 102 m² para 10 m.

Producción de Forraje

Estimaciones de producción de follaje y frutos en plantaciones de tamarugo y algarrobo (*P. alba*) entregan resultados muy dispares, dada la alta variabilidad de edades, tamaños, sitios y otros factores. Como ejemplo, en el Cuadro N° 9 se muestran cifras de producción media de forraje para las temporadas 1981 y 1982.

Cuadro N° 9
PRODUCCIÓN MEDIA DE FORRAJE POR ÁRBOL EN LAS PLANTACIONES PARA LOS

Plantación	Follaje (kg)		Frutos (kg)		Total (kg)	
	1981	1982	1981	1982	1981	1982
Algarrobo	21	88	10	29	31	117
Tamarugo	42	63	35	42	77	105

(Fuente: Barros y Wrann, 1992)

Si estas cifras se expanden a la superficie de una hectárea, empleando las densidades medias del Cuadro N° 8, de 54 arb/ha para tamarugo y 38 arb/ha para algarrobo, se obtienen 6.318 y 3.990 kg/ha, respectivamente, en el caso del año 1982.

UTILIZACIÓN

El aprovechamiento de algarrobos y mezquites por el hombre como forraje, combustible, construcciones y alimento humano es de muy antigua data. En la Pampa del Tamarugal en Chile existen evidencias, en sitios arqueológicos como Aragón y Tiliviche, de pueblos recolectores y cazadores, nómades inicialmente y sedentarios después, que se remontan a 5 a 7 mil años AC (CONAF, 1997).

Felker (2009) comenta que posiblemente no hay otras especies con el potencial de generar desarrollo económico en áreas muy pobres, assoladas e inhóspitas como las de la Región Saheliana en África, el Medio Este y los desiertos de India y Pakistán. Especies de raíces profundas, fijadoras de nitrógeno, resistentes a calor, sequía y salinidad, que prosperan bajo las más extremas condiciones de sitio y ofrecen valiosos productos y servicios, son una oportunidad sin paralelo para las zonas áridas y semiáridas. Este autor destaca la calidad de los frutos alimenticios y la madera de alta estabilidad dimensional para productos valiosos como muebles y pisos entre los más importantes potenciales de estas especies, además de los beneficios ambientales como sombra, protección y mejoramiento de suelos, ornamentación y otros.

Pasiecznik *et al.* (2001), resaltan los múltiples productos dados por la madera, los frutos, las hojas, mieles y ceras, gomas, curtientes, tinturas y fibras, medicinas y beneficios ambientales.

Madera

La madera es probablemente el producto más importante, sea para combustible o para usos estructurales o madera aserrada. Como combustible puede ser empleada en forma directa o para producir carbón, mientras que la madera se puede usar como postes y estacas o para aserrío. Esto depende de las especies y su manejo, hay especies arbustivas que solo generan cantidades limitadas de combustible y carecen desde luego de valor para usos estructurales, y hay especies arbóreas que con sus troncos y ramas son importantes fuentes de combustible y madera para las poblaciones locales.

La madera de estas especies es un combustible de gran calidad, con un poder calorífico medio cercano a 5.000 Kcal/kg, por ejemplo desde 4.200 Kcal/kg para *Prosopis alba* a 5.065 Kcal/kg para *Prosopis tamarugo*. Arde bien en estado verde o seco y contiene hidrocarburos aromáticos, lo que la hace muy aceptada como leña para barbacoa que tiene alta demanda e interesantes precios en países como Argentina y USA. El carbón obtenido de estas maderas es también de alta calidad y puede ser producido tan fácilmente con madera verde como seca, en hornos tradicionales, en 2 a 4 días y con un rendimiento en peso de 10 a 20 % con madera verde. Otro aspecto positivo es la facilidad de rápido rebrote de los árboles después de severas y repetidas cortas, sin detrimento del estado sanitario de los ejemplares.

La madera central o durámen es fuerte, dura, pesada y durable, su peso específico varía con las especies y es en general de 0,7 a 1,0, la densidad se mueve de 700 a 1.200 kg/m³, normalmente la más pesada es *Prosopis tamarugo*, seguida por *Prosopis chilensis*, *P. pallida* y *P. glandulosa*. Tiene una relativa mayor estabilidad dimensional frente a otras especies, lo que se traduce en bajas contracciones y rajaduras. El corazón es rojo oscuro o café oscuro, a diferencia de la albura generalmente amarilla.

La madera de ramas largas y rectas, o de retoños de corta anterior, es usada para postes de cerco y mango de herramientas muy durables, y la madera aserrada puede ser usada en partes de casas e incluso en mueblería fina (Argentina, USA) y en elegantes pisos de parqué (Chile, USA). La madera aún siendo dura y densa, es trabajable sin problemas y acepta buena terminación.

Fruto

Las legumbres, vainas o capes, distintos nombres que se da a estos frutos, tienen altos contenidos de azúcar, carbohidratos y proteínas, por lo que históricamente han sido fuente de alimentos para las poblaciones en donde estas especies se encuentran. En tiempos más recientes han adquirido más importancia como alimento para ganado. Su valor nutritivo y su tamaño varían ampliamente con las especies. El sabor del mesocarpo del fruto varía desde agrio y amargo a dulce, y la succulencia también lo hace, desde frutos secos y fibrosos a succulentos y más dulces.

Frutos de especies de la Sección *Algarobia* contienen 7-22 % proteína, 30-75 % carbohidratos, 11-35 % fibra cruda, 1-6 % grasa y 3-6% cenizas. No obstante esto es muy variable entre especies.

Hoja

El consumo de la hojas varía también según las especies y los diferentes animales que las pueden comer. Algunas pocas especies tienen hojas palatables y son un valioso recurso forrajero. Las especies de Asia y África tienen follaje palatable, pero solo el de unas pocas americanas es fácilmente consumido por todo tipo de ganado. Las tres principales especies forrajeras en base al follaje son *Prosopis africana*, *P. cineraria* y *P. tamarugo*.

Los tallos tiernos y las hojas jóvenes de todas las especies son consumidos en forma ocasional por el ganado, especialmente cuando las alternativas de forraje son limitadas. Las hojas de todas las especies son comidas solo cuando no hay forraje alternativo disponible. Follaje inmaduro y hojas caídas y secas tienen mayor palatabilidad que material maduro y fresco. En el caso de las especies más palatables, las hojas pueden ser consumidas directamente del árbol o desde ramas cortadas para estos efectos. Los sistemas de manejo en general incluyen esta última práctica hasta por tres veces al año con *Prosopis cineraria*.

La composición del follaje no varía mayormente entre las especies. En el caso de *Prosopis cineraria*, especie palatable, las hojas contienen 11 a 18 % de proteína cruda, 13 a 22 % de fibra cruda, 43 a 59 % de extracto de nitrógeno libre, 6 a 12 % de cenizas, 1,5 a 3,8 % de calcio y 0,3 a 1,8 % de fósforo. Las hojas de *Prosopis juliflora* en tanto, no palatables, contienen 14 a 22 % de proteína cruda, 21 a 23 % de fibra cruda, 43 a 50 % de extracto de nitrógeno libre, 1,5 % de calcio y 0,2 % de fósforo.

Miel y Cera

Las flores son un buen recurso melífero, producen abundantes cantidades de néctar y polen por períodos de tiempo prolongados y atraen así a los insectos polinizadores. Las principales especies de abejas, con los más largos rangos de vuelo, están entre los agentes polinizadores. La miel de *Prosopis* es amarillo claro, generalmente de buena calidad, con un gusto agradable y un aroma tenue.

La apicultura existe en la mayor parte de las áreas donde los *Prosopis* son nativos y están ampliamente distribuidos y en diversos lugares en los que se los ha introducido.

México es el mayor exportador de miel, principalmente nominada miel de acacia, pero buena parte de esta proviene de mezquite. Grandes cantidades de miel de alta calidad fueron exportadas por años desde Hawaii, con una producción basada en extensas áreas donde *Prosopis pallida* fue introducido.

Goma

La goma es exudada por heridas naturales en la corteza como un mecanismo de defensa, pero esta exudación puede ser estimulada mediante heridas provocadas. Las gomas de estas especies son solubles en agua, líquida y amarilla cuando fresca, y se solidifica y oscurece lentamente.

La goma ha sido producida tradicionalmente con especies de acacias, en particular de *Acacia senegal*, cuya goma es la referencia en calidad para cualquier comparación. Los *Prosopis* producen goma comparable con la de las especies que normalmente se usan con este fin y, en el caso de *Prosopis juliflora*, esta es químicamente casi idéntica a la de *Acacia senegal*.

La goma es usada ampliamente como aditivo de alimentos, emulsionantes, espesantes, como materia prima para adhesivos y en preparaciones farmacéuticas. En India se afirma que la goma es amarga y se la usa crecientemente en fabricación de textiles y adhesivos. La recolección de goma de *Prosopis juliflora* es una actividad importante en zonas de India, los árboles son cosechados en la época seca y un hombre puede obtener alrededor de 1 kg por jornada.

Curtientes

La corteza contiene 14 a 16 % de taninos y el contenido de este compuesto en diferentes partes de los árboles para diferentes especies varía de 6 a 20 %. Los taninos obtenidos de la corteza, junto con los que se encuentran en la madera y los que se obtienen de extracto de los frutos, son usados en el curtido de cueros. Los taninos eran extraídos de la corteza y otras partes del árbol hirviendo el material en agua, actualmente se los extrae mediante arrastre de vapor.

Fibra

Empleando raíces descortezadas se elaboraban en Norteamérica fuerte cuerdas y lazos. Fibras obtenidas de la corteza interior eran utilizadas con los mismos fines y también para cestería.

Tinturas

De las raíces se obtienen extractos colorante, café-púrpura, empleados para teñir algodón y otros materiales. La corteza y las gomas se usan para producir pinturas y tintes y también en cosmética y elaboración de champú.

Usos Medicinales

En las áreas de distribución de estas especies son muchas las aplicaciones medicinales de extractos de distintas partes de los árboles. Hay diversas dolencias tratadas con extractos de corteza y de hojas; infecciones de la garganta y bronquitis, enfermedades internas, parásitos y problemas urinarios, y problemas de la piel, como dermatitis, infecciones y parásitos.

En Asia las flores se usan para prevenir abortos, extractos de corteza para el tratamiento de la lepra, la disentería, temblores y reumatismo. Humo de hojas para curar infecciones oculares y extractos de hojas para mordeduras de serpientes y picaduras de escorpiones. Similares usos son reportados en África.

En Sudamérica, preparaciones de brotes tiernos y yemas se emplean para la conjuntivitis, preparaciones con hojas para fracturas, cálculos biliares, dolores de oídos y también para mordeduras de serpientes y picaduras de escorpión.

En Norteamérica, se preparan infusiones de distintas partes de los árboles; de hojas, yemas y gomas, para dolencias oculares; de corteza, hojas y gomas, como laxantes, purgantes y vomitivos; soluciones de goma, para irritaciones de la garganta y afecciones respiratorias; hojas, corteza y gomas, para diarrea y desórdenes estomacales, indigestiones y úlceras; y savia o gomas, para curar heridas y afecciones de la piel.

Se ha aislado diferentes compuestos químicos que explican estos usos medicinales, como distintos aminoácidos libres, flavonoides, alcaloides y otros.

REFERENCIAS

Barros, S. y Wrann, J., 1992. El Género *Prosopis* en Chile. En: Ciencia e Investigación Forestal, Vol 6 N° 2. pp 295 – 334. Instituto Forestal, Chile.

Beresford - Jones, David G., 2004. Pre-Hispanic *Prosopis*-Human Relationships on the South Coast of Peru: Riparian Forests in the Context of Environmental and Cultural Trajectories of the Lower Ica Valley. Magdalene College, University of Cambridge. 3. The Genus *Prosopis* on the South Coast of Peru.

Burkart, A., 1976. A Monograph of the Genus *Prosopis* (*Leguminosae* subfam. *Mimosoideae*). Journal Arnold Arboretum 57: 217-249 and 450-525.
En línea: <http://www.botanicus.org/item/31753002407929>.

CONAF, 1997. Plan de Manejo Reserva Nacional Pampa del Tamarugal. Corporación Nacional Forestal. Chile 107 p. y Anexos.

Enciclopedia de la Flora Chilena, 2010. *Prosopis* L.

En línea: http://www.florachilena.cl/Niv_tax/Angiospermas/Ordenes/Fabales/Fabaceae/Prosopis/prosopis.htm. Consulta marzo 2010.

FAO, 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA-2010)

En línea: <http://www.fao.org/forestry/static/data/fra2010/KeyFindings-es.pdf>. Consulta marzo 2010.

Felker, Peter, 2009. Unusual Physiological Properties of the Arid Adapted Tree Legume *Prosopis* and their Applications in Developing Countries. Chapter 9.

En línea: <http://sites.google.com/site/petersprosopismesquitesite/documents>. Consulta marzo 2010.

ICBN, 2005. International Code of Botanical Nomenclature (VIENNA CODE). Electronic version of the original English text. Adopted by the Seventeenth International Botanical Congress. Vienna, Austria, July 2005. Prepared and edited by J. Mc NEILL, Chairman, F. R. Barrie, H. M. Burdet, V. Demoulin, D. L. Hawksworth, K. Marhold, D. H. Nicolson, J. Prado, P. C. Silva, J. E.

Skog, J. H. Wiersema, Members. N. J. Turland, Secretary of the Editorial Committee. 2006.
En línea <http://ibot.sav.sk/icbn/main.htm>. Consulta marzo 2010

INFOR, 1981. Studio de las Especies del Género *Prosopis* en la Pampa del Tamarugal. Tomo II Clasificación, Características y Cartografía de los Bosques de Prosopis. Instituto Forestal, Santiago, Chile. pp 102. No publicado, Trabajo realizado para CORFO-SACOR.

INFOR, 1986. Mejoramiento Genético *Prosopis*. Tomo I Localización de las Principales Superficies Boscosas Naturales y Plantadas de Algarrobo y Tamarugo entre la I Región y la región Metropolitana. Trabajo realizado para Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI-83-017. Actividad I – 1.3.1. Santiago, Chile. pp 277.

INFOR, 2009. Anuario Forestal 2008. Sede Metropolitana, Instituto Forestal, Chile. pp 161.

Köppen, 1900. Clasificación Climática. En línea: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:World_Koppen_Map.jpg. Consulta febrero 2010.

Pasiecznik, Nick, Peter Felker, P.J.C., Harris, L.N. Harsh, G. Cruz, J.C., Tewari, K. Cadoret and L.J. Maldonado. 2001. The *Prosopis juliflora-Prosopis pallida* Complex: A Monograph. HDRA, Coventry, UK.

En línea http://www.researchintouse.com/nrk/RIUinfo/outputs/R7295_Prostopsis_Monograph.pdf. Consulta marzo 2010.

Stevens, P. F., 2001. Fabaceae. Angiosperm Phylogeny Website. Version 7 mayo 2006.

En línea: <http://www.mobot.org/MOBOT/Research/APweb/orders/fabalesweb.htm#Fabaceae>. Consulta marzo 2010

Wikipedia, 2010. Wikipedia, La Enciclopedia Libre.

En línea: <http://es.wikipedia.org/wiki/Fabaceae>. Consulta marzo 2010.

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 atenuadas a la Norma NCh 30 del Instituto Nacional de Normalización (INN). Se empleará en todo caso el sistema métrico decimal. Al respecto es conveniente recordar que la unidades se abrevian en minúsculas, sin punto, con la excepción de litro (L) y de aquellas que provienen de apellidos de personas como grados Celsius (°C). Algunas unidades de uso muy frecuente: metro, que debe ser abreviado **m** 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
DURÓMETRO PORTÁTIL PARA MADEIRAS. Adriano Wagner Ballarin, Roberto Antonio Colenci e Hernando Alfonso Lara Palma. Brasil.	05
SISTEMAS SILVOPASTORALES, ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN INTEGRADA PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA AGRICULTURA EN CHILE. Álvaro Sotomayor. Chile.	19
MODELO ESTÁTICO DEL MOMENTO VOLCANTE Y POTENCIAL FRACTURA EN UN ÁRBOL. Walter Bussenius Cortada, Abraham Fariás Flores, Oscar Bustos Letelier. Chile.	53
USO DE LAS TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN SISTEMAS DE COSECHA FORESTAL DE MÍNIMO IMPACTO EN EL SUELO. Oscar Bustos Letelier y Carlos Mena Frau. Chile.	61
SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO INICIAL DE PLANTAS MICROPROPAGADAS DE RAULÍ (<i>Nothofagus alpina</i> (Poepp et Endl) Oerst) ESTABLECIDAS EN ENSAYOS CLONALES. Braulio Gutiérrez C. Chile.	81
APUNTES	
EL GÉNERO PROSOPIS, VALIOSO RECURSO FORESTAL DE LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA, ASIA Y AFRICA. Santiago Barros. Chile.	91
REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN	129

