Volumen 15 Nº 2
Agosto 2009

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

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL



INSTITUTO FORESTAL
CHILE

INFOR

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

VOLUMEN 15 Nº 2

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL

AGOSTO 2009

RELACIONES INTERNACIONALES Y COMUNICACIONES INFOR

INSTITUTO FORESTAL
CHILE

INFOR

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 Abalos 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 Joaquin 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
	Osvaldo 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 envio. 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.

INFOR

INVENTÁRIO DE BIOMASSA EM UM PLANTIO DE *Pinus elliottii Engelm.* AOS 23 ANOS DE IDADE NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

Marcos Vinicius Giongo Alves[1], Henrique Soares Koehler[2] e Luiz Marcelo Brum Rossi[3]

RESUMO

O presente trabalho estimou a biomassa aérea de um povoamento de *Pinus elliotti*, com 23 anos de idade, localizado no município de Rio Branco do Sul - PR. Foram avaliadas separadamente a biomassa do fuste, galhos e acículas. A biomassa seca total estimada é composta por 85% de fuste, 10% de galhos e 5% de acículas. O modelo ajustado para a estimativa de biomassa seca aérea total, em função do diâmetro a altura do peito (DAP), apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,91 e erro padrão da estimativa (Sxy) de 11,98%. Dentre os modelos ajustados para estimar as diferentes porções de biomassa na árvore, o que estima a biomassa do fuste foi o que apresentou melhor relação entre biomassa e o diâmetro à altura do peito.

Palavras-Chaves: Reflorestamentos, modelagem, biomassa

ABOVE GROUND BIOMASS QUANTIFICATION IN A 23 YEARS OLD *Pinus elliottii Engelm.* STAND AT RIO BRANCO DO SUL, STATE OF PARANÁ, BRAZIL

SUMMARY

Above ground dry biomass was estimated for a 23 years old *Pinus elliottii* stand, located at Rio Branco do Sul, State of Paraná, Brazil. Stem, branches and needles dry biomass were estimated separately. The estimated total above ground dry biomass was composed by 85 % of stem, 10 % of branches and 5 % of needles. The adjusted equation for estimation of total dry biomass as a function of the diameter at breast height (DBH), showed a coefficient of determination (R^2) of 0.91 and a standard error in percentage (Sxy%) of 11,98 %. Among the tested models for estimating the different portions of tree dry biomass as a function of DBH, the stem biomass equation was the one that showed the best results.

Keywords: Planted forests, modeling, biomass

1-Universidad Federal do Paraná - UFPR, Curitiba-PR, Brasil (malves@creapr.org.br)
2-Universidad Federal do Paraná - UFPR, Curitiva-PR, Brasil (koehler@ufpr.br)
3-Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, Brasil (mrossi@cpaa.embrapa.br)

INTRODUÇÃO

O Brasil é o sétimo país em florestas plantadas do mundo, contando atualmente cerca de 5,2 milhões de hectares. A maior parte da área reflorestada existente no País formou-se nas décadas de 1970 e 1980, quando da vigência do programa de incentivos fiscais. Esse instrumento tornou possível às empresas a execução plantios de florestas em larga escala, contando com um incentivo financeiro, uma vez que podiam abater integralmente do Imposto de Renda as importâncias comprovadamente aplicadas em reflorestamento.

As áreas reflorestadas com o gênero *Pinus* no Brasil ocupam uma área de 1,8 milhão de hectares, representando cerca 38,6% dos reflorestamentos existentes no país. Esses reflorestamentos com espécies de rápido crescimento representam uma importante alternativa para a produção de matéria-prima da industria florestal brasileira.

Desta forma, a estimativa de biomassa das florestas tem um enorme interesse não só a nivel cientifico como também prático. Conforme Martins (2004), citando Paulo *et al.* (2002), o conhecimento da biomassa seca existente nos diversos ecossistemas é importante para todo um vasto conjunto de aspectos como a comercialização de produtos, estudos da produtividade do sistema florestal, estudos de fluxos de energia e de nutrientes, estudos da contribuição dos ecossistemas para o ciclo global de carbono, assim como para a avaliação da quantidade de combustíveis no que diz respeito aos incêndios florestais.

Na quantificação de biomassa florestal existe a necessidade do desenvolvimento de estudos na quantificação nos diferentes componentes dos indivíduos, possibilitando assim um melhor entendimento da distribuição da biomassa nas plantas e nos ecossistema, permitindo um melhor entendimento do fluxo de nutrientes e do armazenamento de carbono pelas florestas. Segundo Watzlawick *et al.* (2004), estes estudos são trabalhosos, demorados e muito onerosos, podendo ser realizados por meio de métodos diretos ou indiretos. Nos métodos diretos, as árvores são derrubadas e seus componentes são separados e pesados, enquanto que nos métodos indiretos são utilizadas equações matemáticas para realizar as estimativas.

Segundo Salati (1994) os métodos indiretos vem sendo utilizados para se estimar a biomassa de áreas florestais de grandes extensões e, dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empiricas entre a biomassa e algumas variáveis, sendo comumente utilizadas as variáveis de inventário florestal como DAP, altura e volume, os quais são relacionados com a biomassa de alguma forma.

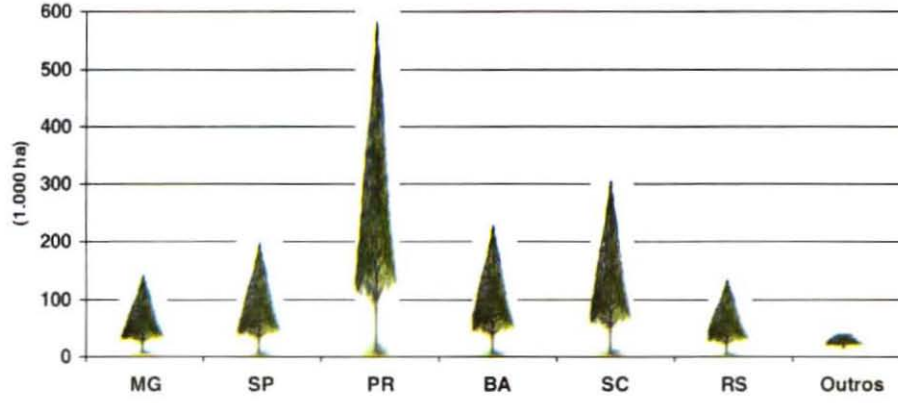
Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo o ajustamento e teste de diferentes modelos matemáticos para estimar biomassa em função de outras variáveis, determinando suas correlações e finalmente quantificando a biomassa seca aérea da área de estudo.

INFOR

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os Reflorestamentos no Brasil

O Brasil é o sétimo país em termos de área reflorestada no mundo (COFO, 2001), detendo, em 2000, cerca de 5,2 milhões de hectares. Segundo Hoeflich *et. al.* (2005), no Brasil, a madeira de florestas plantadas, especialmente eucalipto e pino, constituem uma das fontes mais importante de matéria-prima para os diversos usos industriais. As áreas reflorestadas com o gênero *Pinus* representam aproximadamente 38,6% dos reflorestamentos nacionais ocupando uma área de aproximadamente 1,8 milhão de hectares, sendo o Estado do Paraná o maior detentor dessas florestas, com uma participação de 36% do total da área plantada com este gênero no Brasil, conforme observamos na Figura N° 1.



Fonte: SBS (2003)

Figura N°1
DISTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS COM *PINUS* POR ESTADOS, NO BRASIL

Determinação de Biomassa

O termo biomassa florestal, conforme Sanquetta (2002), pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas a fração arbórea da mesma, podendo-se também utilizar o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea. No que se refere à determinação de biomassa, o mesmo autor comenta que, nos métodos diretos, os procedimentos de campo utilizados na determinação de biomassa de florestas podem variar amplamente, segundo os objetivos e as restrições técnicas e orçamentárias. Segundo o autor, os métodos indiretos não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia de equações, devendo ser empregados conjuntamente com os métodos diretos.

Para Martins (2004), o procedimento comum para a quantificação de biomassa é a

utilização do recurso de regressão, onde, após a seleção das árvores a serem amostradas, procede-se a derrubada e a determinação da biomassa dos diferentes componentes considerados da árvore. Posteriormente são ajustadas equações de regressão para cada um dos componentes em questão, relacionados às variáveis biométricas das árvores.

MATERIAL E MÉTODO

Área de Estudo

A área objeto de estudo deste trabalho está localizada no Estado do Paraná, Município de Rio Branco do Sul, distantes 33 km de Curitiba e 124 km do Porto de Paranaguá. A área encontra-se na região Leste do Estado, a 890 m de altitude, 25° 10' 22" de latitude S e 49° 19' 10" de longitude W-GR, conforme observamos na Figura N°2.

O clima da região é classificado como Cfb, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima subtropical, mesotérmico, sempre úmido, com verões de temperatura branda, geadas freqüentes e sem estação seca. A temperatura dos meses mais quentes é inferior a 22°C e dos meses mais frios inferior a 18°C, com temperatura média anual de 16,5°C e apresentando máxima média igual a 22,6°C. A precipitação pluviométrica anual média varia de 1400 mm a 1600 mm, sendo que as chuvas são distribuídas em todos os meses do ano, com maior abundância no verão, nos meses de janeiro e fevereiro e menos freqüentes nos meses de julho e agosto, apresentando uma umidade relativa média de 85%, índice hídrico entre 60 e 100 e sem deficiência hídrica.



Fonte: Elaborado pelos autores (2006)

Figura N°2
CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO DESTE TRABALHO

A região apresenta, na maioria de seu território um relevo ondulado e montanhoso com grandes desníveis altimétricos. Os terrenos da região estão assentados predominantemente sobre rochas calcárias, filitos, xistos e quartzitos, os quais têm alta suscetibilidade à dissolução,

INFOR

sendo muito comum nessas áreas a presença de dolinas e cavernas, típicas de terrenos cársticos.

Os solos são produtos da ação do intemperismo sobre as formações geológicas e seu desenvolvimento está diretamente ligado ao tipo de relevo por estas geradas. Destacam-se três tipos de solos: o latossolo vermelho-amarelo de baixa fertilidade natural, onde ocorre o processo de lixiviação muito intensa, conforme o regime de chuvas; o podzólico vermelho-amarelo facilmente erodível, em função de diferentes condicionantes naturais; e o cambissolo raso drenado e de limitado uso agrícola.

Inventário Florestal

Para a realização do inventário florestal utilizou-se o processo de amostragem sistemático, ou seja, as unidades foram distribuídas sistematicamente em linha na área inventariada. Cada unidade de amostra (UA) foi alocada a uma distância de pelo menos trinta metros (30 m) da bordadura dos limites, evitando-se assim a inclusão de árvores de bordadura.

O método de amostragem utilizado foi o da área fixa devido à praticidade e sua simplicidade no estabelecimento das unidades amostrais no campo, conforme Péllico Netto e Brena (1997). Nesse método de amostragem a medição das árvores é feita dentro da unidade de amostra, considerando por conseqüência a freqüência de indivíduos que nela ocorrem.

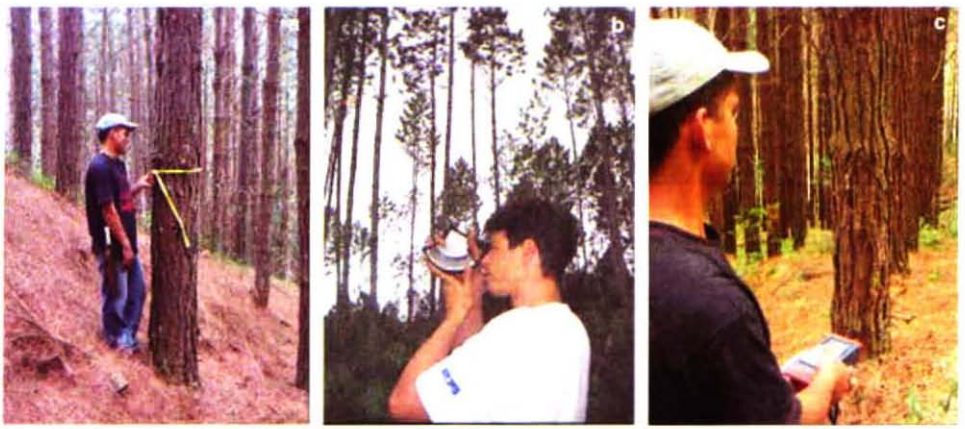


Figura N° 3
INVENTÁRIO FLORESTA (A) MEDIÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA À ALTURA DO PEITO (CAP) COM A UTILIZAÇÃO DE FITA MÉTRICA, (B) MEDIÇÃO DE ALTURA DAS ÁRVORES COM HIPSÔMETRO DE BLUME-LEISS E (C) DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DA PARCELA COM A UTILIZAÇÃO DE UM DISTANCIÔMETRO

Determinação da Biomassa

Com base nos dados obtidos no inventário florestal foi elaborada a distribuição da freqüência dos diâmetros em seis classes diâmetricas, tendo sido abatidas 23 árvores, distribuídas proporcionalmente entre as classes de diâmetros definidas.

Após a determinação dos números de árvores a serem abatidas por classe de diâmetro, as mesmas foram selecionadas nos levantamentos de campo de forma aleatória, onde se realizou a quantificação da biomassa nos três componentes previamente definidos: i) fuste, ii) galhos e iii) acículas conforme observamos na Figura N° 4.

Antes do abate das árvores, foram coletadas com a utilização de GPS as coordenadas geográficas das mesmas, a circunferência à altura do peito e na base da árvore. A seguir as mesmas foram abatidas e, para facilitar a pesagem, o fuste e os galhos foram secionadas em porções menores.



Figura N°4
LEVANTAMENTOS DE CAMPO PARA A QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTA DOS COMPONENTES FUSTE, GALHOS E ACÍCULAS

RESULTADOS

Os principais resultados obtidos do inventario florestal realizado na área de estudo podem ser observados na Tabela N°1.

INFOR

Tabela N° 1
VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS RESULTANTES DO INVENTÁRIO FLORESTAL REALIZADO NA ÁREA DE ESTUDO

VARIÁVEIS	VALORES
DAP médio	28,41 cm
Altura média	23,70 m
Altura dominante	24,83 m
Área basal média	28,82 m^2 ha^{-1}
Volume com casca	359,55 m^3 ha^{-1}
Volume sem casca	309,66 m^3 ha^{-1}
Densidade	444 árvores ha^{-1}

Na Tabela N° 2 pode-se observar os resultados da quantificação de biomassa florestal seca aérea nos três componentes avaliados (fuste, galhos e acículas). O componente fuste representa cerca de 85% do total de biomassa seca dos componentes avaliados, seguido dos galhos com uma participação de 10% e finalmente as acículas com 5%.

Tabela N° 2
BIOMASSA SECA AÉREA DOS DIFERENTES COMPONENTES ANALISADOS

COMPONENTE	BIOMASSA SECA (Mg ha^{-1})
Fuste	131,0
Galhos	15,8
Acículas	7,7
Biomassa total (aérea)	161,32

Cabe-se ressaltar que a soma da biomassa dos três componentes avaliados é diferente do total apresentado na Tabela N° 2, ou seja, caso sejam somados os três componentes não será obtido o mesmo resultado da biomassa seca total (aérea) de 161,32 Mg ha^{-1}, mas sim 154,50 Mg ha^{-1}. Esta diferença se deve ao fato de se tratarem de estimativas individuais de cada um dos componentes e também da biomassa seca total.

Para a quantificação de biomassa seca da área de estudo, foram ajustados modelos matemáticos lineares, conforme pode-se observar na Tabela N° 3, que mostra os modelos que apresentaram melhores resultados, com seus respectivos coeficientes de determinação ajustados e o erro padrão da estimativa.

Tabela N°3
EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA A ESTIMATIVA DE BIOMASSA NOS DIFERENTES COMPONENTES ANALISADOS

MODELO	FUSTE		GALHOS		ACÍCULAS		MASSA TOTAL	
	$R^{2(1)}$	$S_{xy}^{(2)}$	$R^{2(1)}$	$S_{xy}^{(2)}$	$R^{2(1)}$	$S_{xy}^{(2)}$	$R^{2(1)}$	$S_{xy}^{(2)}$
$B = b_0 + b_1.DAP$	0,81	15,35	0,71	51,46	0,71	34,71	0,85	15,58
$B = b_0 + b_1.DAP^2$	0,80	15,73	0,80	43,11	0,73	33,46	0,86	14,89
$B = b_0 + b_1.DAP.Ht$	0,85	19,67	0,45	71,26	0,47	46,48	0,80	18,27
$B = b_0 + b_1.DAP^2.Ht$	0,90	11,14	0,70	53,06	0,66	37,13	0,91	11,98
$B = b_0 + b_1.DAP + b_2.DAP^2 + b_3.DAP^3$	0,80	15,76	0,92	26,46	0,80	28,37	0,85	15,49

(1) Coeficiente de determinação ajustado (2) Erro padrão da estimativa

CONCLUSÕES

Os modelos lineares simples foram os que apresentaram melhores ajustes para a estimativa da biomassa seca do fuste e massa seca total, em quando que para as estimativas de biomassa seca de galhos e acículas os modeles lineares múltiplos apresentaram os melhores ajustes.

O modelo selecionado para a quantificação de biomassa seca do fuste e total foi $B = b_0 + b_1.DAP^2.Ht$, apresentado um ajuste satisfatório, para ambos os casos ($R^2 > 0,90$). Cabe ainda ressaltar, que a utilização da variável DAP isolada para a estimativa de biomassa seca destes componentes apresentou ajustes que podem ser considerados bons, dada a simplicidade do modelo. Assim, em situações em que a variável altura não é conhecida ou não pode ser estimada, esses modelos podem ser ajustados considerando somente a variável DAP.

Para os componentes galhos e acículas, a qualidade do ajuste foi inferior quando comparados aos modelos ajustados para fuste e massa total. Isso deve-se ao fato dessas variáveis apresentarem menor correlação com a biomassa. Acredita-se que estes componentes poderiam apresentar melhores ajustes caso fosse considerada a altura de copa. Para estes componentes foi selecionado o modelo $B = b_0 + b_1.DAP + b_2.DAP^2 + b_3.DAP^3$.

Outro aspecto importante é o fato de que a análise por compartimentos estimou a biomassa seca aérea de 154,50 Mg ha^{-1} enquanto que o modelo para massa seca total apresentou um resultado de 161,32 Mg ha^{-1}, representando uma diferença de 6,82 Mg ha^{-1}, ou seja, os modelos por compartimento quando comparados ao modelo de biomassa seca total, apresentaram diferença de estimativa de biomassa de cerca de 4% a menos.

INFOR

REFERÊNCIAS

COFO, 2001. Committee on Forestry, Food and Agriculture Organization. The Global Forest Resources Assessment 2000: Summary Report. Roma: FAO. 38p.

Hoeflich, V.A., Alves, M.V.G., Koehler, H.S. and Medrado, M.J.S., 2005. The Brazilian Forest Sector: Challenges and strategies for its development. in: XXIII IUFRO World Congress, 2005, Brisbane, Queensland, Australia.

Martins, F.B., Páscoa, M.F.M. e Silva, J.C., 2004. Modelos de estimativa de biomassa para acículas de *Pinus pinaster* Aiton. in: 3º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal, 2004, Santa Maria,49-54p.

Pellico Netto, S., Brena, D.A., 1997. Inventário Florestal. Curitiba: Editorado pelos autores, 316 p.

Salati, E., 1994. Emissão e seqüestro de CO_2 – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. in: Seminário Emissão e Seqüestro de CO_2 – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro, p. 15-37.

Sanquetta, C.R., 2002. Métodos de determinação de biomassa florestal. in: A Florestas e o Carbono. Curitiba, p. 119-140.

SBS, 2003. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em <http://www.sbs.org.br>.

Watzlawick, I.F., Koehler, H.S. e Kirchner, F.F., 2004. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus taeda* l. Utilizando imagens de satélite IKONOS II. in: 3º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal, Santa Maria, p. 168-178.

INPOR

INFOR

DESARROLLO DE UN MODELO DE PLAN DE MANEJO PARA ÁREAS PROTEGIDAS EN BOSQUES CON ARAUCARIA EN EL SUR DE BRASIL

Maria Augusta Doetzer Rosot[1], Pablo Cruz[2], Yeda Maria Malheiros de Oliveira[3], Hugo Rivera[4] y Patricia Povoa de Mattos[5]

RESUMEN

El presente trabajo se inserta en el ámbito de convenios de cooperación técnica establecidos entre instituciones de fomento e investigación forestal chilenas y brasileñas, cuyo propósito es el intercambio de tecnologías en las áreas de monitoreamiento ambiental y manejo forestal.

El proyecto objeto de este estudio específico tiene por finalidad el desarrollo de un modelo de plan de manejo para áreas protegidas en bosques con araucaria presentes en el sur de Brasil, con base en el estudio de caso de un área piloto perteneciente a EMBRAPA (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria). La reserva forestal EMBRAPA-EPAGRI posee 1.157 ha, se encuentra localizada en el municipio de Caçador, Estado de Santa Catarina, Brasil, y representa uno de los fragmentos forestales en mejor estado de conservación en la región.

La primera fase de los trabajos consistió en la compilación de la base cartográfica y levantamiento del medio biofísico del área para la elaboración de un Sistema de Informaciones Geográficas (SIG), el que contribuirá para el ordenamiento territorial de la Reserva. Se trabajó con layers de vegetación y de los demás usos de suelo (obtenidos por interpretación visual de la imagen IKONOS), hidrografía, altimetría, suelos, pendiente, exposición, Áreas de Preservación Permanente (APP) y Reserva Legal (RL).

Las informaciones de stock maderero fueron colectadas a través de un inventario forestal estratificado en función de clases físicas homogéneas vinculadas a pendiente y exposición. Datos de crecimiento (incremento periódico anual medio - IPA) por estrato fueron obtenidos por el análisis del incremento diamétrico de los últimos 10 años en tarugos de incremento, extraídos de los árboles de las parcelas del inventario.

Las etapas siguientes contemplan un levantamiento faunístico y de la flora con problemas de conservación en el área de la Reserva.

El cruzamiento de todas esas capas de información espacial permitirá atribuir usos o funciones al territorio de la Reserva, utilizando para ello una "Matriz de Compatibilidad de

1-Embrapa Florestas – Brasil – augusta@cnpf.embrapa.br
2-Universidad Mayor – Chile – tacora12@yahoo.es
3-Embrapa Florestas – Brasil – yeda@cnpf.embrapa.br
4-CONAF – Chile – rivera_harh@yahoo.es
5-Embrapa Florestas – Brasil – povoa@cnpf.embrapa.br

Objetivos" y una metodología denominada de "Evaluación Multicriterio" (EMC). El propósito de la EMC es investigar un número de alternativas bajo la luz de criterios diferenciados y objetivos en conflicto y, según esa información, generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo con su grado de atracción.

Se definieron preliminarmente el objetivo principal de la Reserva, que es la investigación de los ecosistemas forestales, y los objetivos específicos, que son la preservación, la educación y capacitación, y la producción maderera y no-maderera. El principal resultado de la EMC, mapa de zonificación de la Reserva, servirá de base para la elaboración del plan de manejo. A partir de este plan serán establecidos diversos programas o acciones a ser aplicados conforme los objetivos específicos definidos para cada zona de la Reserva. Especial énfasis será dado a las áreas destinadas a la producción, pretendiéndose desarrollar e implementar un modelo de ordenamiento forestal para los bosques con araucaria, teniendo por objetivo la generación de productos madereros y no madereros. Se espera de este modo responder a interrogantes formuladas por la legislación ambiental vigente (Decreto 750/1993 y Resolución 278/2001-CONAMA) en relación al establecimiento "... de criterios técnicos, científicamente probados, que garanticen la sustentabilidad de la explotación y conservación genética de las poblaciones explotables".

Al mismo tiempo se procura la definición de un nuevo paradigma para la conservación y uso de los bosques con araucaria, dado que se considera que la legislación, aunque bastante restrictiva en cuanto al aprovechamiento de los recursos madereros, no ha sido eficiente para contener la eliminación de la vegetación natural y la conversión de la tierra para otros usos como agricultura y ganadería, por ejemplo.

También en el ámbito del proyecto se pretende definir y/o adaptar subtipologías ya existentes de los Bosques con Araucaria que sean más ajustadas con la realidad observada en fragmentos que sufrieron acción antrópica en los más variados niveles.

En una fase posterior se desea establecer e implementar esquemas silviculturales específicos a cada situación, evaluándose sus efectos a lo largo del tiempo por medio de técnicas de monitoreamiento.

Palabras clave: *Araucaria angustifolia*, Pino Paraná, Manejo Forestal, Áreas Protegidas.

INFOR

DEVELOPMENT OF A MANAGEMENT PLAN MODEL FOR PROTECTED AREAS IN SOUTHERN BRAZIL ARAUCARIA FORESTS

SUMMARY

This work is part of agreements involving technical cooperation between Brazilian and Chilean educational and research institutions, aiming technologies interchange in environment monitoring and forest management.

This specific study focuses on the development of a management plan model for protected areas in the Araucaria forest in southern Brazil, based on a case study of a pilot area owned by EMBRAPA, the Brazilian Agricultural Research Corporation. EMBRAPA-EPAGRI's Forest Reserve (RFEE) has an area of 1,157 hectares and is located in the Municipality of Caçador, Santa Catarina State. The RFEE is recognized as one of most conserved forest remnants in the Brazilian Mixed Ombrophylous Forest (Araucaria forests).

The first phase of the project consisted of cartographic compilation and biophysical environmental surveys of the area aiming the elaboration of a Geographic Information System (GIS) that will support the Reserve territorial planning. The vegetation layer and other uses of the soil (obtained by visual interpretation of IKONOS imagery), hydrography, altitude, soils, slope, exposition, location of the riparian areas (defined by law as "preservation areas") and Legal Reserve (designed by the Brazilian law as "areas under restricted use") were available from previous work.

Information about wood stock was provided through a forest inventory stratified by homogeneous physical classes considering slope and exposition. Growth data (average periodic annual increment over the last ten years) by stratum was obtained by the diametric increment analysis of increment cores taken from trees located in the inventory plots.

The next stages of the project foresee the endangered flora and fauna surveys.

The cross tabulation of all these spatial information layers will allow to attribute uses or functions to the territory using an "Objective Compatibility Matrix" that is part of the methodology called Multicriteria Evaluation. The purpose of this technique is to search a number of alternatives through differentiated criteria and conflicted objectives and, according to this information, generate solutions, commitments and hierarchization of alternatives, according to their attractiveness.

In a preliminary analysis, the main objective of the Reserve was defined as the research on forest ecosystems and specific objectives included preservation, people education and qualification, and production (timber and no-timber). The main result of the Multicriteria Evaluation, the Reserve Zoning Map, will be used as a base to elaborate the management

plan. Several programs or actions will be established or applied according to the specific objectives defined to each zone of the Reserve. A special emphasis will be given to the areas destined to production, intending to develop and to implement a forest management model for the Araucaria forest, aiming timber and non-timber products. With this project, one expects to answer questions formulated by the Brazilian environmental statutory law (Acts called Decree 750/1993 and Resolution 278/2001-CONAMA, the Brazilian Environmental Council) concerning the establishment of "... technical criteria, scientifically based, that guarantee the sustainability of the forest exploitation and the genetic conservation of the exploitable populations".

At the same time the project is looking for a new paradigm definition to the conservation and use of the Araucaria forest considering that the legislation, although very restrictive to the exploitation of timber resources, has not been efficient to avoid the suppression of natural vegetation and land conversion to other uses as agriculture and cattle breeding, for example.

The project also aims to define and/or adapt Araucaria forest sub-typologies according to the actual situation observed in remnants that suffered anthropogenic interference in different levels.

In the next phase of the project, some silvicultural protocols, specific to each class, will be established and implemented, and their effects throughout the time will be evaluated by monitoring techniques.

Key words: *Araucaria angustifolia*, Paraná Pine, Forest Management, Protected Areas.

INFOR

INTRODUCCIÓN

El bioma conocido como Mata o Foresta Atlántica, está presente en 17 provincias a lo largo de la costa brasileña y comprende varias regiones fitoecológicas, incluyendo entre ellas los Bosques con Araucaria que ocurren predominantemente en los tres estados meridionales de Brasil. El patrón histórico de colonización observado desde el Siglo XVI, con el establecimiento de villas y ciudades de norte al sur del litoral, determinó la gradual y sistemática explotación de los bosques, haciendo que la Foresta Atlántica constituya hoy uno de los biomas más amenazados del espacio natural brasileño.

La legislación, aunque bastante restrictiva en cuanto al aprovechamiento de los recursos madereros, no ha sido eficiente para contener la eliminación de la vegetación natural y la conversión de la tierra para otros usos como agricultura y ganadería, por ejemplo. Por otro lado, desde el inicio de la década del '90 se encuentran suspendidos los planes de manejo o de ordenamiento forestal desarrollados para predios ubicados en este bioma, hasta que sean respondidas las interrogantes formuladas por la legislación ambiental vigente (Decreto 750/1993 y Resolución 278/2001-CONAMA) en relación al establecimiento "...de criterios técnicos, científicamente probados, que garanticen la sustentabilidad de la explotación y conservación genética de las poblaciones explotables". Esta es una demanda que se planteó a la comunidad científica y que suele ser atendida mediante investigación de largo plazo basada en el estudio de la autoecologia de las especies, de las interacciones fauna-flora, de los factores físicos del medio (suelos, relieve, agua, luminosidad) y su efecto sobre la producción, de la caracterización de los rodales en términos de estructura y dinámica (Narvaes et al., 2005) y, finalmente, de la relación entre los bosques y la población en términos de percepción de la importancia y de las posibilidades de uso de los recursos naturales.

Actualmente el desarrollo e implementación de planes de manejo están restringidos a la Amazonia y los modelos adoptados para esa región no son aplicables a las condiciones boscosas presentes en otros biomas. La carencia de estudios silviculturales y de manejo para los bosques nativos del sur de Brasil fue lo que motivó el establecimiento del presente proyecto. En la búsqueda de antecedentes relacionados al tema, se constató que existen amplias similitudes entre el "Bosque con Araucaria" brasileño y el "Bosque Siempreverde" chileno, corroboradas por opiniones técnicas de investigadores de ambos países. Dada la experiencia chilena en el manejo de bosques nativos, se establecieron convenios de cooperación técnica entre instituciones de fomento e investigación forestal chilenas y brasileñas, cuyo propósito es el intercambio de tecnologías en las áreas de monitoreamiento ambiental y manejo forestal.

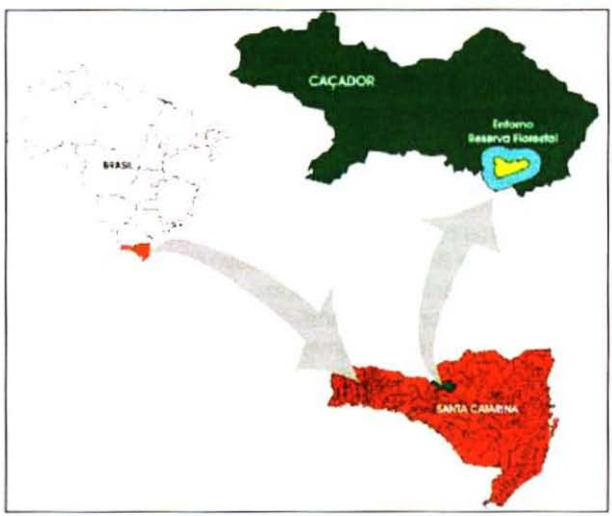
En el ámbito de estos convenios se inserta el presente proyecto, donde se propondrá un método de manejo para el Bosque con Araucaria, de forma de garantizar su sustentabilidad, esto es, donde se generen productos forestales con fines comerciales, se conserve la base productiva y se consideren los beneficios sociales del bosque, principalmente con el empleo en las actividades silviculturales. Además, se plantea un cambio de paradigma con respecto a áreas protegidas, donde tradicionalmente es vedada toda y cualquier intervención, determinando fuerte tendencia a la preservación, que no siempre está basada en una evaluación técnica o con criterios claros respecto de las condiciones y necesidades del bosque.

INFOR

MATERIALES

Área de Estudio

La región con Bosques con Araucaria ocupaba originalmente un área de 20 millones de hectáreas de los cuales se estima que existen hoy apenas 400.000 ha (Guerra et al., 2000). En su mayoria estos bosques se presentan en malas condiciones, empobrecidos debido a floreos ejecutados en los últimos 60 años. No es distinta la situación en el predio público donde se desarrolla el proyecto, una reserva forestal (Figura N°1) perteneciente a EMBRAPA. La reserva posee 1.157 ha, se encuentra localizada en el Municipio de Caçador, Estado de Santa Catarina, Brasil, y representa uno de los fragmentos forestales en mejor estado de conservación en la región aunque haya sufrido cortas selectivas hasta el inicio de los años '80. La mayor parte de la reserva está cubierta por la tipología "Foresta Ombrófila Mixta Montana", donde están presentes algunas especies consideradas en riesgo de extinción como Araucaria *angustifolia* (pino-paraná), *Ocotea porosa* (imbuia), *Ocotea pretiosa* (canela-sasafraz) y *Ocotea catharinensis* (canela-preta). La altitud varía de 1.000 a 1.100 m y el clima es del tipo Cfb, según la clasificación de Koeppen, presentando veranos calientes e inviernos fríos con ocurrencia de heladas. Las clases de suelo Cambisolos + Neosolos son predominantes y el relieve varía de suave ondulado a ondulado. Dos riachuelos y nacientes asociadas caracterizan la hidrografía.



(Fuente: Kurasz, 2005)

Figura N° 1
UBICACIÓN DE LA RESERVA FORESTAL EMBRAPA/EPAGRI

Dos planes de manejo fueron desarrollados en los años de 1994 y 1997, pero ninguno de ellos fue implementado, porque se dudaba de su eficacia en proteger el área. A partir de 1998 el predio pasó a denominarse Reserva Forestal EMBRAPA/EPAGRI y desde entonces sólo se

INFOR

realizan actividades de mantención de caminos y cortafuegos, además de investigaciones tanto en el bosque nativo como en los ensayos de frutales presentes en una pequeña superficie de la reserva.

Araucaria angustifolia o pino-paraná (uno de los dos géneros de coníferas nativos de Brasil) es la especie dominante en el Bosque con Araucaria y fue durante muchas décadas la principal especie maderera explotada en el sur. Hoy tiene su manejo prohibido por ley y es todavía poco lo que se conoce de ella en términos silviculturales. De excepcional forma y buen crecimiento (puede llegar hasta 15 m^3/ha/año), la especie merece que se la estudie más detalladamente pues representa la más rentable alternativa del bosque, tanto por su madera como por los piñones (semillas) que produce, los cuales son tradicionalmente comercializados como alimento.

Lo que se observa, de manera general, es la regeneración deficiente del pino-paraná dentro del bosque por ser una especie exigente en luz. Aunque se esperaría que los disturbios, naturales o provocados por acciones antrópicas, desarrollasen el proceso de establecimiento de nuevas plántulas por ocasión de la abertura del dosel, esto no ocurre. Uno de los motivos para ello puede ser la presencia masiva de la taquara, un tipo de bambú de los géneros *Merostachys* y *Chusquea*, que tuvo su establecimiento favorecido por sucesivas intervenciones antrópicas. Por otro lado, se sugiere también que los problemas con la regeneración se deban a acciones predatorias de la fauna que se alimenta de los piñones.

METODOLOGÍA

El modelo de plan de manejo que se pretende desarrollar para la reserva se apoya en tres vertientes distintas:

Ordenación territorial
Ordenación forestal
Actividades de monitoreo

La ordenación territorial (OT) es un diseño de planificación que tiene como objetivo realizar planificación integral, es decir, considerando todos los recursos y limitaciones que cada predio pudiera tener. De esta OT resultará la superficie destinada a manejo forestal, por ejemplo, una vez que se hayan sido analizadas todas las funciones que pudiese desempeñar la cobertura boscosa. El carácter integral que tiene este proceso obliga a levantar una línea base diversa y su esencia es la toma de decisiones sobre el territorio, con toda la gama de informaciones que posee cada área. La base de las actividades realizadas en esta etapa es el Sistema de Informaciones Geográficas (SIG).

La segunda vertiente que prevé un modelo integral de manejo forestal sustentable debe contener los parámetros que definen un sistema silvicultural aplicable a estos bosques. En la ordenación forestal (OF) se emplean los conceptos de enfoque predial, equilibrio de producción y rendimiento sostenido (Rothermel, 2002). Las actividades de monitoreo siguen a la implementación del modelo, mediante la instalación, medición y evaluación de ensayos silviculturales en las superficies bajo manejo.

Plan de Ordenación Territorial (POT)

La primera fase de los trabajos consistió en la compilación de la base cartográfica y levantamiento del medio biofísico del área para la elaboración de un Sistema de Informaciones Geográficas (SIG).

La base cartográfica provino de una carta elaborada por la Dirección de Servicios Generales del Ejército (DSG), escala 1:50.000, con curvas de nivel de 20 en 20 metros y puntos con información altimétrica. El mapa en medio analógico fue escaneado, georreferenciado y la red viaria, la hidrografía y las curvas fueron vectorizadas para generar un modelo digital de elevación (MDE) y luego las capas de altimetría, pendiente y exposición.

El levantamiento del medio biofísico incluyó:

Levantamiento semi-detallado de suelos a una escala 1:25.000 con análisis de parámetros físico-químicos.

Levantamiento de la vegetación en terreno y por medio de técnicas de teledetección usando fotointerpretación en pantalla de una imagen IKONOS multiespectral con resolución de 4 metros.

Informaciones dasométricas colectadas a través de un inventario forestal estratificado en función de clases físicas homogéneas vinculadas a pendiente y exposición.

Datos de crecimiento (incremento periódico anual medio - IPA) por estrato obtenidos por el análisis del incremento diamétrico de los últimos 10 años de tarugos de incremento, extraídos de los árboles de las parcelas del inventario.

Identificación botánica de todos los árboles muestreados en las parcelas.

En función de la ubicación de los cursos de agua y nacientes fue generada una capa de restricciones legales relativas a las áreas de preservación permanente, así como se asignó 20 % de la superficie como "reserva legal" que, según el código forestal brasileño, no puede ser sometida a tala rasa.

Las etapas siguientes prevén un levantamiento de fauna y de la flora con problemas de conservación en el área de la Reserva. El cruzamiento de todas esas capas de información espacial permitirá atribuir usos o funciones al territorio de la Reserva, utilizando para ello una "Matriz de Compatibilidad de Objetivos" y una metodología denominada de "Evaluación Multicriterio" (EMC). El propósito de la EMC es investigar un número de alternativas bajo la luz de criterios diferenciados y objetivos en conflicto y, según esa información, generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo con su grado de atracción.

El objetivo principal de la Reserva es posibilitar la investigación de los ecosistemas forestales en distintos niveles, incluyendo los objetivos específicos de preservación, educación y capacitación, y producción (maderera y no-maderera).

INFOR

El proceso de asignación de funciones al territorio permite que se alcancen compromisos para una planificación de mediano plazo. El principal resultado de la EMC, mapa de zonificación de la Reserva, servirá de base para la elaboración del plan de manejo. A partir de este plan serán establecidos diversos programas o acciones a ser aplicados conforme los objetivos específicos definidos para cada zona de la Reserva. Específicamente para las superficies asignadas como "zonas de aprovechamiento maderero" se elaborará un plan de ordenación forestal.

Plan de Ordenación Forestal (POF)

- Modelo del Plan de Manejo Forestal

El aspecto central de esta etapa del proyecto es crear propuestas silviculturales para las diferentes situaciones que presentan los Bosques con Araucaria, en un formato demostrativo. Se hará énfasis en los detalles prácticos, los costos y rendimiento involucrados y el rendimiento volumétrico en cada caso. Por esta razón es fundamental la elaboración de una tipología forestal con un sentido silvicultural, es decir, que tenga como objetivo, clasificar los bosques según el tipo de silvicultura posible.

Una componente fundamental es el diseño y construcción de áreas demostrativas, en que sean aplicadas las actividades según su tipología. Por esta razón, la última fase del proyecto consistirá en la implementación de áreas demostrativas en que se apliquen las propuestas del modelo silvícola.

El POF se estructurará conforme las siguientes etapas:

Análisis y recopilación de antecedentes (tipología y silvicultura). La propuesta de manejo se elaborará sobre la base de tres fuentes de información:

Documentación desarrollada en Brasil relativa a la caracterización del bosque, sobre la cual se basará la tipología silvícola.

Documentación de experiencias silviculturales para este bosque, realizadas en Brasil.

Documentación de silvicultura del Tipo Forestal Diempreverde de Chile que pueda ser aplicada al Bosque con Araucaria.

Elaboración de la tipología silvícola. Dado que las propuestas silvícolas se elaborarán para la clasificación de las diversas situaciones que presente el bosque, es necesario sistematizar las actuales tipologías con el objeto de agrupar aquellas situaciones con silvicultura común. Asi, la nueva clasificación tendrá un sustento en los actuales trabajos de descripción del bosque. La elaboración deberá tener una fase de validación, consistente en la visita a bosques de la reserva en las que se contrastará cada tipo propuesto con los bosques que representa. En aquellos casos en que sea posible verificar en terreno los resultados de alguna de las actuales clasificaciones, se realizará una visita de ajuste para mejorar la consistencia de los datos.

Análisis y adaptación de técnicas silvícolas. Se analizará el tipo de silvicultura posible de aplicar a cada una de las tipologías confeccionadas en la etapa anterior. Dado que la proposición de intervenciones, sus objetivos, intensidad, momento de ejecución, y demás indicaciones deben provenir de la experiencia en el manejo del bosque específico al cual se está aplicando la actividad, la base de análisis será la experiencia documentada en Brasil referida a actividades silvícolas en el Bosque con Araucaria. La información descrita será complementada con la experiencia de ensayos silvícolas de Chile, en aquellos casos en que exista una directa similitud entre los tipos de bosque y las respuestas documentadas en ese país, estén sólidamente probadas en sus resultados y efectos ambientales. Tanto las experiencias brasileñas como las chilenas serán validadas en su consistencia, por la vía de visitas a terreno. De esta etapa se tendrá como resultados un manual de actividades silvícolas propuestas para cada una de las categorías descritas en la tipología silvicultural.

Ensayos silviculturales complementarios. Se levantarán ensayos de las técnicas silvícolas más significativas de la propuesta. Estos ensayos tendrán un carácter demostrativo y de evaluación y seguimiento al efecto esperado en el bosque. Serán evaluados por mediciones anuales que entregarán informaciones sobre la dinámica de crecimiento y producción del bosque después de la aplicación de las técnicas silvícolas propuestas. Además, se desarrollará un estudio de ajuste de la silvicultura a los crecimientos de las especies más importantes por su uso maderero, a través de análisis de fuste. De estos estudios se espera obtener, entre otras informaciones, los momentos de aplicación de las cortas, funciones de crecimiento en altura y funciones de crecimiento volumétrico.

En la primera fase del POF se utilizarán también los datos de incremento periódico anual medio para cálculo de las tasas de aprovechamiento. Con los resultados descritos, se elaborará un modelo de manejo forestal para los Bosques con Araucaria, en formato de guía para silvicultores, que contendrá la identificación de tipologías silvícolas prediales, la definición de esquemas silviculturales y una guía de elaboración de plan de manejo predial.

Las áreas demostrativas tendrán como función la implementación de las actividades silvícolas y su seguimiento posterior, en un formato demostrativo a los diferentes actores del sector forestal. Un aspecto importante de la implementación de silvicultura en las áreas es la aplicación a escala operativa, en la que se deberá resolver el conjunto de faenas indirectas relacionadas con la actividad forestal en bosque nativo, como es la planificación de caminos y vías de saca, dimensionamiento de las actividades anuales en un régimen de rendimiento sostenido, entre otras.

- Elaboración e implementación del POF

El Plan de Ordenación Territorial (POT) considera las diferentes funciones atribuidas al territorio según la metodología de evaluación multicriterio, incluyéndose la superficie de aprovechamiento maderero. Se elaborará un Plan de Ordenación Forestal (POF) para la totalidad de dicha superficie.

INFOR

El plan estará basado en la estimación de parámetros de Ordenación calculados a partir de información colectada en terreno. Como resultado final, se planificarán las actividades y faenas espacial y temporalmente por un período de tiempo determinado. El POF se constituirá de las siguientes fases:

Recopilación POT. Se recopilará, en formato analógico y digital, los mapas de ordenación territorial que incluyen la superficie final considerada como de aprovechamiento maderero. Los trabajos cartográficos subsecuentes, ejecutados en ambiente de SIG, serán elaborados con base en el límite de dicha superficie.

Caracterización cartográfica

- Levantamiento de información temática con uso de Aeromodelo: La Reserva será sobrevolada con un Aeromodelo desarrollado por EMBRAPA que utiliza un censor digital en el espectro visible e infrarrojo con el objetivo de refinar las tipologías definidas en el POT. Las fotos obtenidas con superposición longitudinal y lateral serán empleadas en la elaboración de una carta temática de tipologías forestales y además se probará algoritmos clasificadores automáticos.

- Elaboración Cartografía final: Se elaborarán coberturas temáticas detalladas para el área de aprovechamiento maderero que contendrán:

Rodales y su fotointerpretación
Infraestructura y caminos
Hidrografía detallada
Mapa de Productividad (compartimentos homogéneos en términos de factores biofísicos: tipología forestal, exposición y pendiente)

Levantamiento de la información de terreno. Caracterización de rodales: Cada rodal será evaluado desde la perspectiva de su potencial para la producción maderera. Por ello, la primera evaluación será cualitativa, destinada a evaluar la estructura, composición, estado de desarrollo, especies de valor para el manejo, método silvícola para lograr el objetivo, y actividad silvícola de los próximos 10 años, opciones de enriquecimiento, y otros datos de relevancia para la ordenación y silvicultura. Para esta evaluación se utilizará la metodología de Cruz y Rothermel (1998), usando un formulario estructurado que se aplicará a la condición *completa del rodal*. Una vez caracterizado el rodal, se realizará un segundo inventario para estimar variables dasométricas y rendimiento volumétrico de las intervenciones silvícolas propuestas en la etapa anterior.

-Elaboración plan de ordenación forestal

- Procesamiento de la Información predial: Se procesarán los datos y se integrarán las propuestas silvícolas realizadas en terreno. La información cualitativa y de inventario permitirá determinar las siguientes variables de relevancia (las principales) para cada rodal:

Tipo de bosque: se elaborará una caracterización detallada de cada

situación orientada a clasificar según la tipología propuesta en este proyecto.

Estructura y composición.

Objetivos posibles de manejo y calidad de productos potenciales.

Método silvícola recomendado y actividad silvícola para los próximos 10 años.

Stock estimado de madera en pie.

Intensidad resultante de la aplicación de la actividad silvícola propuesta.

- Cálculo de parámetros de ordenación forestal: Los parámetros de ordenación se utilizan para guiar la planificación cuando ésta se condiciona a una producción bajo rendimiento sostenido. Los parámetros se estimarán con la metodología de Cruz *et al.* (2005) que involucra aspectos tales como la tasa de aprovechamiento y el equilibrio de producción. Para esta etapa se considera una evaluación de las funciones de biomasa y volumen existentes, así como la identificación de *software* posibles de usar como apoyo a la planificación.

- Elaboración del Plan Operativo Predial para el Período: Se realizará la planificación temporal y espacial de las actividades, sujetas a las restricciones dadas por los parámetros de Ordenación Forestal y los objetivos propuestos, para un período de 5 años. El plan contendrá los rodales a intervenir así como las superficies y el volumen estimado de extracción (por año, periodo, predio y por rodal). Para apoyar estas actividades se elaborará cartografía operativa con base en el SIG.

- Ejecución del Plan Operativo

Definidas las actividades para el período de 5 años, se comenzará su implementación siguiendo las indicaciones del Plan Operativo. Evidentemente, no es posible definir la cantidad y detalle de esas actividades en la etapa de preparación en que se encuentra este proyecto, sin embargo, es posible indicar las temáticas que se considerarán en dicha ejecución.

Las experiencias similares implementadas en Chile indican que las superficies que se deben intervenir en un área bajo rendimiento sostenido fluctúan entre 15 y 35 % de la superficie total de bosque. Para el caso de la Reserva de Caçador podría considerarse una superficie intervenida de 150 a 350 hectáreas (esta superficie se definirá después de la elaboración del POT). Así, la implementación del plan se hará según las siguientes actividades:

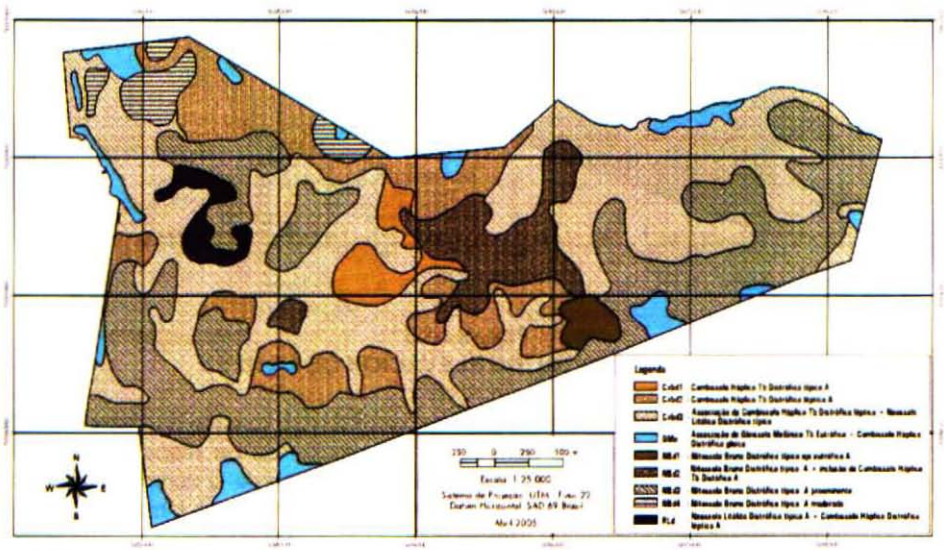
Gestión y preparación de infraestructura
Implementación de faenas o actividades silvícolas directas
Gestión de comercialización
Monitoreo del plan.

INFOR

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SIG y Ordenamiento Territorial de la Reserva

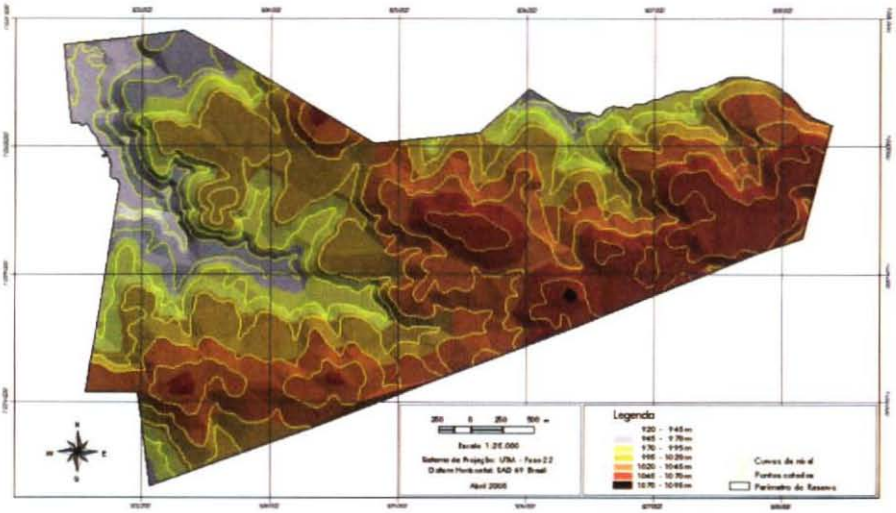
El levantamiento de suelos para la Reserva permitió identificar nueve unidades de mapeamiento, distribuidas en cuatro órdenes: Cambisolos, Gleisolos, Nitosolos y Neosolos. Mayores detalles pueden ser encontrados en Kurasz *et al.* (2004). En la Figura N° 2 se presenta el mapa de suelos resultante del levantamiento ejecutado.



(Fuente: Kurasz, 2005)

Figura N° 2
SUELOS EN LA RESERVA FORESTAL EMBRAPA/EPAGRI

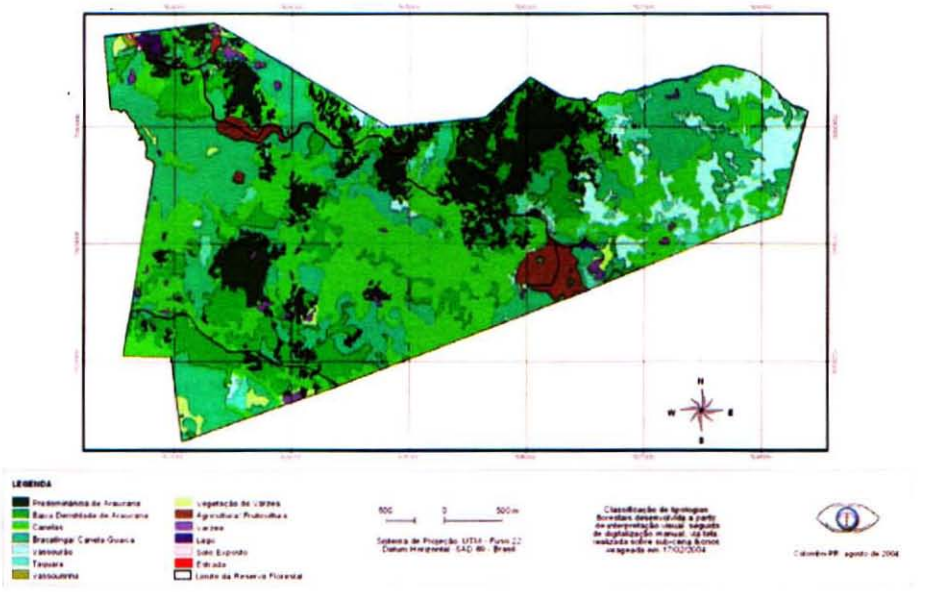
El modelo digital de elevación (MDE) fue creado con base en un TIN (*Triangular Irregular Network*), considerando las curvas de nivel y los puntos de altitud. El mapa hipsométrico generado (Figura N° 3) muestra una variación de altitud 920 a 1.075 m. A partir de ello fueron generadas capas de pendiente y exposición, con tres y cuatro clases, respectivamente. La mayor parte de la superficie de la Reserva se encuentra en las clases de pendiente plana (0-0,5%) y moderada (8-20%), ocupando 34 y 36 % del territorio, respectivamente, lo que determina un relieve ondulado y con exposiciones plana (34%), norte (24%) y oeste (19%) de manera predominante (Rivera, 2006). El cruce de estas dos capas tornó posible la generación de 13 clases de medio físico, utilizadas como estrato en el inventario forestal. En esta fase se optó por no incluir las clases de suelo en la estratificación debido a su escala de levantamiento (1:25.000) y, por otro lado, por la necesidad de investigar más detalladamente la relación suelo-productividad en ensayos localizados y con control más efectivo sobre las fuentes de variación.



(Fuente: Kurasz, 2005)

Figura N° 3
MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE LA RFEE

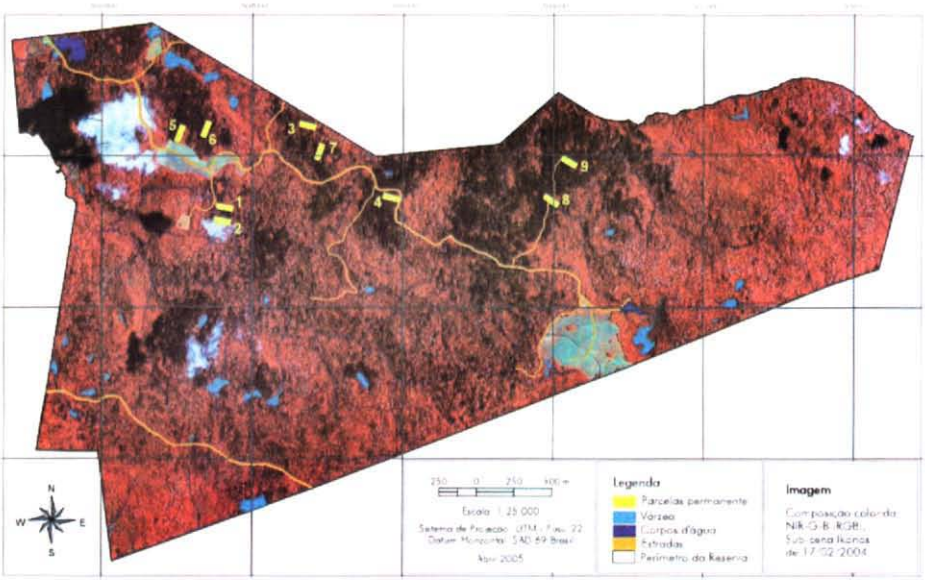
La fotointerpretación en pantalla de una imagen IKONOS tomada en Febrero de 2004 asociada al levantamiento en terreno permitió la elaboración de un mapa de vegetación, cuyas clases se definieron en función del estado de desarrollo y de la composición florística del bosque (Figura N° 4). En un primer nivel se agrupó la vegetación en términos de estados sucesionales (inicial, medio y avanzado) y luego, dentro de cada uno de ellos, en clases según la composición de especies.



(Fuente: Dlugosz, 2005)

Figura N° 4
MAPA DE USO DEL SUELO EN LA RESERVA FLORESTAL EMBRAPA/EPAGRI

El primer abordaje de evaluación forestal hecho en la Reserva empezó el año 2003 con la recuperación de 10 parcelas permanentes de dimensiones 25 x 100 m, instaladas en 1989 en el estrato con predominancia de araucaria y que no habían sido remedidas en los años subsecuentes. Se estableció así el Inventario Forestal Continuo (IFC), demarcándose físicamente las parcelas con la distribución señalada en la Figura N° 5 y midiéndose todos los individuos arbóreos con DAP superior a 20 cm. Cada árbol recibió una etiqueta de identificación y fue pintado a la altura del DAP donde fue medida su circunferencia (CAP). También se midió la altura comercial y se hizo una evaluación de la calidad de la madera a cada árbol. En el procesamiento de este primer inventario se constató la existencia de más de 200 individuos con DAP superior a 20 cm por hectárea. Mantenciones y remediciones fueran realizadas en el 2004, 2005 y 2006. Hoy estas parcelas ya están integradas a la recién creada Red de Parcelas Permanentes de la Mata Atlántica y Pampa.



(Fuente: Kurasz, 2005)

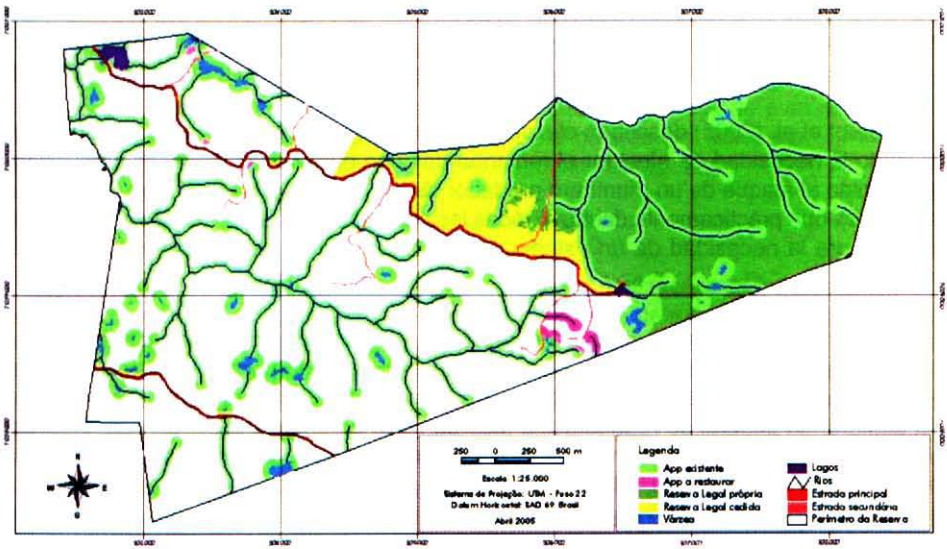
Figura N° 5
LOCALIZACIÓN DE PARCELAS PERMANENTES EN LA RFEE SEÑALADA SOBRE UNA IMAGEN IKONOS

En el año 2006 se ejecutó un inventario forestal, realizándose 72 parcelas temporales (tres para cada clase de medio físico como mínimo), considerándose 15% de error de muestreo y 49% en el coeficiente de variación en relación al área basal, procurándose muestrear todas las clases del medio físico de forma uniforme en toda la reserva y todos los tipos de vegetación. El área basal promedio fue equivalente a 33,37 m^2/ha (Rivera, 2006), midiéndose todos los árboles con diámetros iguales o mayores que 10 cm. En la etapa siguiente se hará un análisis fitosociológico para estimar abundancia, frecuencia, dominancia y un índice de valor de importancia.

Se realizó la identificación botánica del material arbóreo colectado en las parcelas del inventario, y se confeccionó un herbario que estará localizado en la reserva y que deberá acrecentarse con material de nuevas colectas. Las familias más frecuentes fueron *Sapindaceae*, *Lauraceae*, *Flacourtiaceae* y *Myrtaceae*, siendo las especies más comúnmente encontradas *Cupania vernalis* (Cuvatã), *Capsicodendron dinisii* (Pimenteira), *Araucaria angustifolia* (Araucaria), y *Prunus brasiliensis* (Pessegueiro-bravo) de las familias *Sapindaceae*, *Canellaceae*, *Araucariaceae* y *Rosaceae*, respectivamente (Rivera, 2006). Serán consultados especialistas para una evaluación expedita sobre la presencia de especies de la flora con problemas de conservación y, en caso positivo, con la respectiva espacialización de estos eventos se hará su inserción en el SIG, constituyendo también una capa limitante en la EMC.

En cada parcela fueron colectados tarugos de cinco árboles, en distintas clases de tamaño para estimar el respectivo incremento periódico anual medio y que a la fecha continúan siendo medidos. Además de investigar correlaciones entre el crecimiento y las variables físicas, se pretende hacer una interpolación con base en los valores puntuales encontrados para cada parcela y así generar una nueva capa de información para utilizar en la evaluación multicriterio (EMC).

La intersección de las clases de uso del suelo y las superficies definidas como Área de Preservación Permanente (APP) permitió verificar que efectivamente 296 ha contienen vegetación nativa, restando solamente 5 ha como superficies a restaurar, lo que representa una excepción en la propiedad rural de manera general en el sur de Brasil. En este caso específico, los bajos valores de APP a restaurar se deben al hecho de que esta es un área protegida y que no ha sufrido alteraciones significativas de origen antrópica en los últimos 20 años. Las superficies destinadas a la Reserva Legal propia son equivalentes a 248 ha, o cerca de 21 % de la superficie total. Estos predios suelen utilizarse como zonas de investigación en manejo forestal, exceptuándose el régimen de tala rasa, no permitido por ley. El mapa de restricciones legales (Figura N° 6) será usado como capa limitante en la EMC.



(Fuente: Kurasz, 2005)

Figura N° 6
RESTRICCIONES LEGALES DE USO EN LA RFEE

Estando disponibles en el SIG todas las capas necesarias, el primer paso será rasterizar las capas de información para permitir la aplicación de álgebra de mapas. La evaluación multicriterio prevé la definición de limitantes de carácter legal (por ejemplo, APP, RL, especies vulnerables de flora y fauna) o ambiental (suelos susceptibles a la erosión), que son variables

dicotómicas, o sea, se permite (1) o no se permite (0) realizar alguna actividad en alguna superficie. Por otro lado, se definen también los factores, expresados en gradientes, y que pueden ser ambientales, tal como las clases de pendientes y de estadios sucesionales de la vegetación, o económicos, como la accesibilidad a caminos, calidad de la madera en pie, stock y tasa de crecimiento, por ejemplo. El mapa final conteniendo la asignación de funciones al territorio de la Reserva será obtenido con base en la combinación de los factores ambientales y económicos según criterios establecidos en la matriz de compatibilidad de objetivos, mencionada anteriormente, y también considerando la capa de limitantes.

ACTIVIDADES DE MONITOREO

Las principales acciones relativas a monitoreo serán establecidas después de la planificación y ejecución de un plan de manejo forestal para las superficies a las cuales fueron asignadas estas funciones en el ordenamiento territorial.

En el año 2004 un incendio provocado por una quema en áreas agrícolas vecinas alcanzó una pequeña superficie de la Reserva. Para recuperar la cobertura forestal en este lugar, se planteó establecer un ensayo silvicultural de recuperación de área alterada por fuego utilizando plantación en filas, con espaciamiento de 5 x 5 m, empleándose dos especies nativas que ocurren naturalmente en la Reserva, *Araucaria angustifolia* (pino-paraná), con semillas, y *Ocotea porosa* (imbuia), con plántulas, ambas consideradas como vulnerables a la extinción.

Rosot et al. (2005) describen el diseño (Figura N° 7) y primeros resultados del ensayo, resaltando la necesidad de efectuar el replantío del pino-paraná con plántulas producidas en vivero debido al ataque de un mamífero predador de los piñones, el mono-clavo (*Cebus apella* var. *nigritus*), que prácticamente destruyó todas las plántulas que habían nacido de las semillas. Eso corrobora la necesidad de un estudio más detallado de la fauna local y de sus hábitos alimentarios.

En la fase actual, este ensayo viene siendo monitoreado dos veces al año respecto a la supervivencia y adaptación de las plántulas. La próxima etapa prevé una evaluación de la regeneración natural de especies arbóreas de importancia comercial y del comportamiento de la taquara, en general de regeneración muy agresiva en presencia de luz. Los datos están organizados en el SIG para permitir espacialización, control de la condición de la plántula y comparación de parámetros a lo largo del tiempo.

INFOR

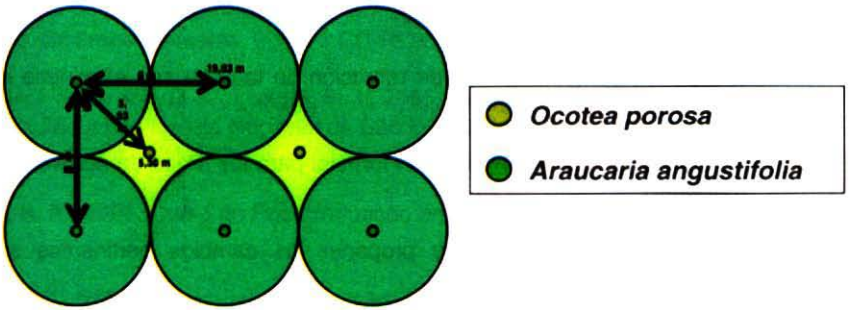


Figura N° 7
DISEÑO DEL ENSAYO DE RECUPERACIÓN DEL ÁREA ALTERADA POR FUEGO

Otra actividad de monitoreo está siendo desarrollada en un ensayo instalado el año 2004 dentro de una de las parcelas permanentes. Se trata de un plantío de aumento de densidad con *Araucaria angustifolia*, utilizando plántulas, realizado en la mitad de la superficie de la parcela, es decir, en 1250 m², en filas regulares. Aún no se ha efectuado ninguna evaluación estadística del experimento, pero las primeras observaciones muestran poco crecimiento de las plántulas y alta tasa de mortalidad por predación del mono. El objetivo es comparar la regeneración natural del pino-paraná con y sin técnicas de aumento de densidad, además de evaluar la relación costo-beneficio de la aplicación de dichas técnicas en el bosque con araucaria. También para este ensayo se utilizará el SIG como herramienta de monitoreamiento.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo tiene como objetivo final recuperar los bosques de esta Reserva, los cuales fueron afectados por un proceso histórico de explotación maderera, cuyo reflejo hoy se traduce en extensas áreas dominadas por taquara, que impiden el desarrollo de la dinámica natural de estos bosques. Sin embargo, y por sobre todo, este proyecto quiere poder demostrar que es factible el uso y la conservación de estos valiosos bosques para el beneficio ambiental, social y económico de la sociedad brasileña.

Por lo tanto, este proyecto será ejecutado procurando la protección y uso comercial de los recursos forestales de la Reserva, considerándose las restricciones y las potencialidades del medio físico y biótico, así como los requerimientos del propietario.

En síntesis, se espera poder formular y ejecutar el modelo de manejo forestal para un período de 5 años, según la siguiente secuencia de trabajos:

Determinar los diferentes usos de la Reserva (Zonificación)

Definir tipologías de vegetación según análisis fitosociológico y con apoyo de geo-procesamiento.

Probar diferentes tratamientos silviculturales para las tipologías definidas y sus respectivos esquemas de manejo.

Evaluar diferentes métodos de remoción de taquara con el mínimo impacto para los remanecientes.

Establecer el plan de ordenación forestal para las áreas de aprovechamiento maderero.

Monitorear los resultados y proponer los cambios pertinentes si fuese necesario.

Evaluación social, ecológica y económica del plan de manejo forestal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo del profesor C.V. Roderjan de la UFPR, del equipo del Laboratorio de Ecología de EMBRAPA Florestas y del Museo Botánico de Curitiba en la identificación botánica. También expresan su gratitud por el apoyo en el trabajo de terreno a las siguientes personas: Admilson Ruppel, Rafaelo Balbinot, Tiago Stepka, Fernando Luis Dlugosz y Kléber dos Santos.

REFERENCIAS

Cruz, P., 2005. Conferência sobre manejo florestal. In: Rosot et al. (Eds. Técnicos). Workshop "Aspectos teóricos e práticos do manejo florestal: Um enfoque para a *Araucaria angustifolia*". Curitiba, 3 e 4 de novembro de 2005. Conferência, palestras e resultados. Colombo : Embrapa Florestas. 1 CDROM.

Cruz, P. y Rothermel, H., 1998. Sistema simplificado de ordenación forestal para la pequeña y mediana propiedad. In: Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Valdivia, 1998. Proceedings ... Santiago : CONAF. p. 3.

Dlugosz, F. L., 2005. Classificação orientada a regiões na discriminação de tipologias da floresta ombrófila mista usando imagens orbitais Ikonos. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná.

Guerra, M. P., 2000. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: Simões, L.L.; Lino, C.F. (Eds) Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais. São Paulo : SENAC, p. 85-101.

Kurasz, G., 2005. Sistema de Informações Geográficas aplicado ao Zoneamento Ambiental da Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador-SC. Curitiba, 2005. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná.

Kurasz, G., Dlugosz, F. L., Rosot, N. C., Rosot, M. A. D., Oliveira, Y. M. M., 2004. Levantamento

INFOR

semidetalhado de solos para atualização de legenda na Reserva Florestal Embrapa/Epagri de Caçador-SC. In: Evento de Iniciação Científica da EMBRAPA Florestas, 3., Colombo. Anais... Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 1 CD-ROM.

Narvaes, I. S., Brena, D. A., Longhi, S. J., 2005. Estrutura da regeneração natural em Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 331-342.

Rivera, H. A., 2006. Curso de Pós-graduação em engenharia florestal. Comunicação pessoal. 2006.

Rosot, N.C., 2005. Ações de recuperação em área degradada por fogo em remanescente de floresta ombrófila mista: resultados parciais. In: Oliveira *et al.* (Eds.) Seminário sobre recuperação de áreas degradadas em floresta com araucária. Curitiba, 25 de outubro de 2005. Apresentações e resumos das palestras. Colombo : Embrapa Florestas, 1 CDROM.

Rothermel, H., 2002. Economía del manejo sustentable: Uma alternativa para el bosque nativo. Santiago: Ediciones Universidad Mayor, 178 p.

INFOR

COMPORTAMIENTO FRENTE A LA SEQUÍA DE PLANTAS REBROTADAS TRAS TALA EN BOSQUE MEDITERRÁNEO EL CASO DE *Quercus ilex*

Fleck, I.[1,2], Aranda. X[1,3] y Peña-Rojas, K. [1,4]

RESUMEN

Se estudió la conducta ecofisiológica en respuesta a la sequía de plantas de encina (*Quercus ilex L.*) intactas (controles) y plantas rebrotadas tras tala de la misma especie. El experimento se realizó a lo largo de un año en la Sierra de Collserola, Barcelona, España utilizando diversas parcelas de bosque con diferente disponibilidad de agua en el suelo. Se midieron las relaciones hídricas, las tasas de intercambio gaseoso foliar, fluorescencia de las clorofilas, composición química y características estructurales en los dos tipos de plantas.

Cuando la disponibilidad hídrica del suelo fue elevada, la fotosíntesis fue similar en rebrotes y controles, a pesar de la mayor hidratación de las hojas y el mayor contenido hídrico relativo al mediodía en las plantas rebrotadas. Bajo sequía moderada, la menor demanda hídrica de los rebrotes, debida a su menor área foliar total, se reflejó en un contenido hídrico relativo constante y mayores conductancias estomáticas y fotosíntesis. El cierre estomático fue el limitante de la fotosíntesis en controles. Bajo sequía severa, se registró una limitación no estomática de la fotosíntesis, menos pronunciada en rebrotes, que se reflejaba en los parámetros de fluorescencia de las clorofilas: ambos grupos presentaban menores valores de rendimiento cuántico del fotosistema II y mayor disipación térmica de la energía absorbida comparados con una disponibilidad hídrica elevada, especialmente en el caso de los controles. En esta etapa, se observó un cambio en estructura y composición química foliar de la vegetación rebrotada en respuesta a la sequía severa. En estas plantas, se observaron cambios en las respectivas contribuciones de la densidad y grosor de la hoja en el peso específico foliar. Una menor densidad en las hojas, relacionada con menores contenidos de hemicelulosa, celulosa y lignina, conllevó a una mayor conductancia para el CO_2 en el mesófilo y como resultado una mayor capacidad fotosintética favoreciendo el crecimiento en las plantas rebrotadas respecto a las intactas.

Palabras clave: Bosque Mediterráneo, *Quercus ilex*, Rebrote, Sequía.

1-Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Barcelona, España.
2-ifleck@ub.edu
3-Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Cabrils, España. Xavier.aranda@irta.es
4-Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Santiago, Chile. karenbioes@yahoo.es

INFOR

SUMMARY

The ecophysiological behaviour in response to drought of undisturbed holm-oak (*Quercus ilex* L., controls) and resprouts after clear-cut of the same species is studied. Experiments were conducted throughout one year in Serra de Collserola, Barcelona, España at a number of forest sites differing in soil water availability. Water status, leaf gas-exchange rates, chlorophyll fluorescence, chemical composition and structural attributes on both plant types were measured.

When soil water availability was high, photosynthesis was similar in resprouts and controls, despite higher midday leaf hydration and relative water content in resprouts. In moderate drought, the lower water demand of resprouts, resulting from their lower total leaf area, accounts for the constant relative water content and high stomatal conductance and photosynthesis. Stomatal closure was found to limit photosynthesis in controls, and in severe drought, non-stomatal limitation of photosynthesis was also greater than in resprouts. This limitation was reflected in chlorophyll fluorescence parameters: both groups presented lower values of photosystem II quantum yield and higher energy dissipation as heat, especially in controls. At this stage, the foliar structure and chemical composition of the resprouting vegetation had changed in response to severe drought. In these plants, changes in the respective contributions of leaf density and thickness to the leaf mass per area ratio were observed. A lower leaf density, related to lower hemicellulose, cellulose and lignin content, accounted for the higher mesophyll conductance to CO_2, which resulted in greater photosynthetic capacity and growth in resprouts than in controls.

Key words: Mediterranean Forest, *Quercus ilex*, Coppice, Drougth.

INFOR

INTRODUCCIÓN

Las condiciones de incremento de temperatura asociadas al cambio climático (Houghton *et al.*, 2001) aumentarán el riesgo de sequías siendo probablemente el área mediterránea las zona con mayor impacto (Chaves *et al.*, 2003). Sus efectos serán patentes en la fisiología de las especies vegetales. Asimismo el aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios forestales (Mouillot *et al.*, 2002) podría reducir la capacidad de rebrote y recuperación de las especies (Kruger y Reich, 1997).

Una de las especies más comunes en la cuenca mediterránea es la encina (*Quercus ilex* L.), poseedora de raíces profundas y una gran capacidad de rebrote a partir de los órganos subterráneos tras sufrir una perturbación (incendio forestal, tala, herbivoría). Los rebrotes originados tras incendio o tala poseen características comunes, mostrando durante los primeros años unas tasas fotosintéticas y de crecimiento muy superiores a las de individuos que no sufrieron perturbación (Fleck *et al.*, 1996, Fleck *et al.*, 1998). Este hecho es debido a una serie de factores, entre ellos la utilización de reservas subterráneas y la mayor disponibilidad de agua y/o nutrientes (Saruwatari y Davis, 1989) debido a la alteración de la relación vàstago/raíz (disminución de la parte aérea asociada a una gran masa radicular).

Bajo condiciones de disponibilidad hídrica limitada, el cierre estomático reduce la disponibilidad de CO_2 en el mesófilo del cloroplasto que conlleva a una disminución de la fotosíntesis especialmente al mediodía (Tenhunen *et al.*, 1987). Bajo estrés hídrico moderado, el cierre estomático se considera el principal factor limitante e la fotosíntesis mientras que al incrementarse la sequía aparecen limitantes no estomáticos (Flexas *et al.*, 2002; Lawlor y Cornic, 2002; Peña-Rojas *et al.*, 2004). La conductancia al CO_2 dentro de la hoja, denominada conductancia del mesófilo (g_{mes}) se considera particularmente importante (Lloyd *et al.*, 1992; Loreto *et al.*, 1994; Epron *et al.*, 1995; Kogami *et al.*, 2001, Niinemets *et al.*, 2005).

La disponibilidad hídrica juega también un papel modificando la estructura foliar (Niinemets, 2001), que a su vez afecta al intercambio gaseoso. La densidad foliar afecta la difusión de CO_2 a los sitios de carboxilación que puede ser particularmente significante en esclerófilos (Loreto *et al.*, 1994; Terashima *et al.*, 2001).

OBJETIVOS

A fin de predecir los efectos de cambios ambientales sobre el proceso fotosintético, la productividad y la capacidad de supervivencia de los encinares, se debe conocer el funcionamiento de dicha especie en situaciones de baja disponibilidad hídrica. Por ello, los objetivos del presente trabajo fueron analizar durante la sequía los cambios funcionales y estructurales que tienen lugar en hojas de encina de individuos no perturbados (controles) y en rebrotes originados después de tala. En particular se estudió la contribución de la conductancia del mesófilo al CO_2 (g_{mes}) limitando la fotosíntesis. El estudio se realizó desde invierno (sequía moderada) hasta verano (sequía severa). Asimismo se compararon rebrotes con individuos controles crecidos en la misma parcela o bien en una zona no perturbada. La transpiración del dosel y por tanto la disponibilidad hídrica diferirá entre ambas áreas.

MATERIAL Y MÉTODO

Localización del Estudio

El estudio se realizó a lo largo de un año en Can Coll, Sierra de Collserola, Barcelona, España (41° 28' 28" N, 2° 7' 32" E). El bosque, de 35 años de edad está dominado por *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*.

Características Climáticas

El clima es Mediterráneo con inviernos fríos, primavera y otoño son lluviosos y los veranos secos y calurosos. Las características climáticas durante el estudio se muestran en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA MÁS PRÓXIMA (2 km) CORRESPONDIENTES A LOS TREINTA DÍAS ANTERIORES A LA TOMA DE DATOS

Parámetro	Invierno	Primavera	Verano
	15/02 - 15/03	15/05 - 15/06	15/07 - 15/08
Temperatura media (°C)	11,6	20,0	24,0
Temperatura máxima media (°C)	17,9	26,8	31,8
Temperatura mínima media (°C)	8,0	15,7	19,0
Precipitación acumulada (mm)	20,8	39,1	5,8
Velocidad media del viento (m/s) y dirección	5,1 (SW)	4,2 (SW)	4,9 (SW)
Presión atmosférica (HPa)	1028	1020	1019
Déficit de presión de vapor (KPa)	1,04	1,14	2,05

Diseño

Se seleccionó una parcela (400 x 280 m) a 140 msnm y orientada N-NE, que se mantiene habitualmente con una baja densidad de plantas. En ella se eligieron al azar 10 plantas que fueron taladas en invierno a 15 cm del nivel del suelo (Rebrotes, R), y 5 plantas más, no taladas, se utilizaron como controles de dicha parcela (Controles, C). En el bosque circundante, se eligieron al azar 4 individuos de *Q. ilex* próximos a la parcela, que fueron designados como CF (Control Forest, controles bosque). Las características morfológicas de los árboles antes de talarlos fueron: 5,9 ± 0.3 cm diámetro a la altura del pecho (DBH), 4,7± 0.2 m altura media, 1,4 ± 0.2 Kg biomasa foliar media.

Variables Analizadas

- Intercambio Gaseoso y Fluorescencia de las Clorofilas

Se utilizó el sistema de intercambio gaseoso portátil LI-6200 (Li-Cor Inc., Lincoln,

NE, USA) para medidas puntuales al mediodía. En cada estación se realizaron 10 curvas de respuesta de la asimilación de CO_2 respecto de concentración intercelular de CO_2 (A/C_i) por tratamiento mediante el sistema de intercambio da gases LI-6400 (Li-COR, Lincoln, Nebraska, USA). Las condiciones en la cubeta foliar variaron según la estación.

La densidad de flujo fotónico fotosintético se estableció como 600 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, que es saturante en estas condiciones (Peña-Rojas *et al.*, 2004) y la concentración ambiental de CO_2 estuvo comprendida entre 50 y 800 $\mu mol \cdot mol^{-1}$ El análisis de las curvas permitió la determinación de A_{max}, fotosíntesis neta a C_i y PPFD saturante; $V_{c,max}$, velocidad máxima de carboxilación de la Rubisco; J_{max}, transporte máximo de electrones que contribuye a la regeneración de la ribulosa bifosfato (RuBP), I_s, limitación estomática de la fotosíntesis ($I_s(\%)=100x\ (1-(A/A_{sat}))$; A_{sat}, fotosíntesis neta bajo luz saturante y C_i = 350$\mu mol \cdot mol-1$) (Farquhar y Sharkey, 1982; McMurtrie y Wang, 1993).

Los componentes de la fluorescencia de las clorofilas se cuantificaron mediante un fluorimetro modulado (Mini-PAM Photosynthesis Yield Analyzer, Walz, Effeltrich, Alemania) en las mismas hojas utilizadas en las mediciones de intercambio gaseoso tal como se describe en Fleck et al. (1998). Los parámetros F_m, F'_m, F_o y F_v se determinaron según Kooten y Snel (1990). La eficiencia del PSII (Φ_{PSII}) y el rendimiento cuántico máximo al mediodía (F_v/F_m) se determinaron según Genty et al. (1989). Los parámetros F'_o, F'_v y quenching fotoquímico (q_p, relacionado con el número de centros abiertos) se estimaron según Oxborough y Baker (1997). El quenching no fotoquímico (NPQ) se calculó como $((F_m/F'_m)-1)$. La adaptación en oscuridad fue de mínimo 20 minutos.

La conductancia del mesófilo (g_{mes}) se estimó a partir de las medidas combinadas de intercambio de gases (LiCor 6400) y de fluorescencia de las clorofilas según Epron *et al.* (1995) y Flexas *et al.* (2002).

- Contenido Hídrico Relativo y Parámetros Anatómicos

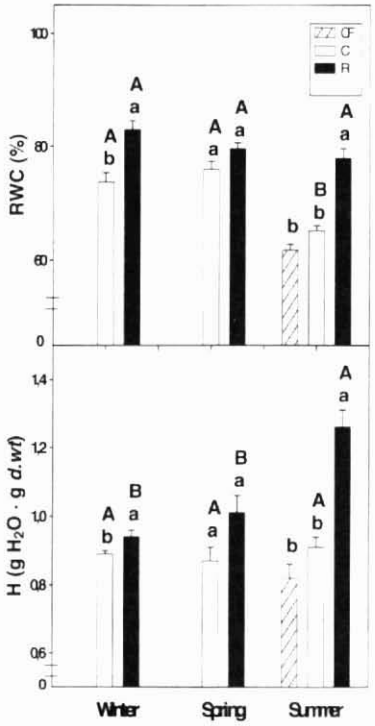
El contenido hídrico relativo (RWC) se determinó calculando: RWC = [(f.wt-d.wt)/(fs. wt-d.wt)·100], f.wt peso fresco; fs.wt peso saturado (tras rehidratar las muestras durante 24 h en oscuridad) y d.wt peso seco (tras secar las muestras en estufa a 65ºC hasta peso constante). Se determinaron en invierno y verano en las mismas plantas utilizadas para mediciones de intercambio de gases: el peso específico foliar, LMA = (d.wt/LA), y sus componentes (f.wt/ LA) y [(d.wt/f.wt)·100], como indicadores del grosor foliar (T) y de la densidad foliar (D), respectivamente (Dijkstra, 1989).

- Composición Química Foliar

Se molieron muestras de hojas en un Molino Cyclotec 1093 Sample Mill (Tecator, Höganäs, Suecia). Posteriormente se escanearon en un espectrofotómetro de reflectancia en el infrarojo cercano (NIR Systems 6500, Foss NIR Systems, Inc, Silver Spring, MD). Se utilizó una base de datos espectral a partir de 25 especies leñosas mediterráneas tal como se describe en Peña-Rojas *et al.* (2005)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

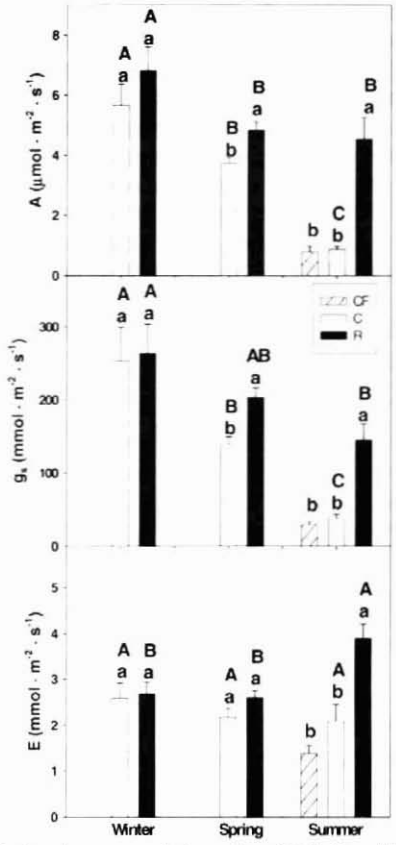
Durante el estudio se observaron diferencias funcionales y estructurales entre rebrotes y plantas control, especialmente en el periodo de sequía. Los valores de los parámetros hídricos determinados reflejaron las diferencias en disponibilidad hídrica de los distintos tipos de plantas (tratamientos) (Figura N° 1).



Cada valor representa la media ± SE de 30 medidas.
Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se indican mediante letras distintas (tratamiento (a, b), estación (A, B)).

Figura N° 1
CONTENIDO HÍDRICO RELATIVO (RWC) E HIDRATACIÓN (H) AL MEDIODÍA (CF CONTROL BOSQUE; C CONTROL Y R, REBROTES)

Al mediodía, los rebrotes mostraron mayor contenido hídrico (RWC) e hidratación (H) que los controles en invierno y verano, hecho relacionado con su menor relación parte aérea/ parte subterránea (Peña-Rojas *et al.*, 2004, Fleck *et al.*, 1998). A pesar de que el aumento en temperatura foliar y DPV en verano favorecieron una elevada transpiración en rebrotes (Figura N° 2), el RWC se mantuvo a lo largo del año y fue superior al de los controles. Las diferencias entre R y C fueron iguales a las diferencias entre R y CF y en consecuencia no son debidas a la zona en que crecieron (talada o intacta) y sus presumibles diferencias en contenido de agua en el suelo, sino a las características de los rebrotes.



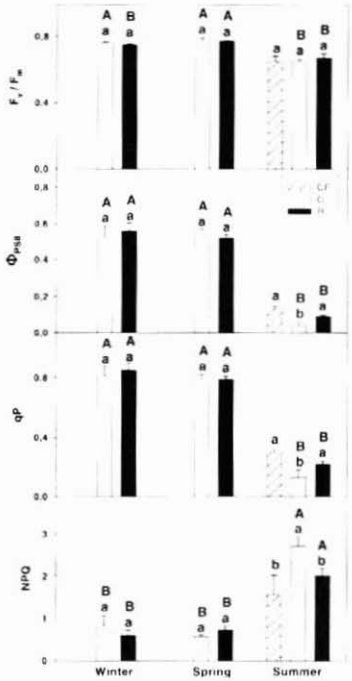
Cada valor representa la media ± SE de 8 medidas.
Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se indican mediante letras distintas (tratamiento (a, b, c), estación (A, B)).

Figura N° 2

VALORES AL MEDIODÍA DE ASIMILACIÓN NETA DE CO_2 (A), CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA (G_s) Y TRANSPIRACIÓN (E), (CF CONTROL BOSQUE; C CONTROL Y R, REBROTES).

Cuando la disponibilidad hídrica fue mayor (invierno), la fotosíntesis fue semejante en los diferentes tipos de material, sin observarse ventaja de los rebrotes a pesar de mostrar mayor RWC e hidratación (Figura N° 2). Bajo un estrés hídrico moderado (primavera), la menor demanda hídrica de los rebrotes debida a su menor área foliar total implicó una mayor conductancia estomática que en los controles. El cierre estomático redujo la disponibilidad de CO_2 conllevando una disminución de la fotosíntesis. El estrés estival tuvo un efecto marcado reduciendo la fotosíntesis un 50% en los controles y un 20 % en los rebrotes. En resumen, controles y rebrotes evitaron la desecación mediante el cierre estomático, con lo que se produjo una limitación de la asimilación de CO_2 pero se mantuvieron unos valores operativos de RWC y H.

En determinadas circunstancias, la absorción de luz puede exceder a la necesaria para la fotosíntesis llevando a la fotoinhibición del aparato fotosintético en dicha especie (Méthy et al. 1996). El efecto de la sequía quedó reflejado en los parámetros de fluorescencia (Figura N° 3). El Φ PSII, F_v/F_m y el q_P fueron menores en el verano. La disipación de la energía en forma de calor mediante el ciclo de las xantofilas, indicado por el parámetro NPQ fue mayor que en invierno en todos los tratamientos indicando una mayor saturación del aparato fotosintético. (Demmig-Adams y Adams 1996). Asimismo, el NPQ en verano fue menor en rebrotes que en controles debido a su mayor sumidero fotosintético de electrones (mayor fotosintesis). Los valores de Φ_{PSII}, NPQ y q_P en CF son indicativos de un estado del aparato fotoquímico más relajado en el ambiente sombreado. Los resultados de intercambio de gases y de fluorescencia de las clorofilas indicaron la existencia de limitantes no estomáticos de A durante la sequía severa, menos marcada en rebrotes, corroborados por los cambios observados en los parámetros derivados de las curvas A/C_i (Cuadro N° 2).



Cada valor representa la media ± SE de 8 medidas.
Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se indican mediante letras distintas (tratamiento (a, b, c), estación (A, B)).

Figura N° 3
VALORES AL MEDIODÍA DE RENDIMIENTO CUÁNTICO MÁXIMO DEL PSII (F_V/F_M), EFICIENCIA DEL PSII (ΦPSII), QUENCHING FOTOQUÍMICO (Q_P) Y QUENCHING NO FOTOQUÍMICO (NPQ);
(CF CONTROL BOSQUE; C CONTROL Y R, REBROTES).

Cuadro N° 2
ASIMILACIÓN NETA DE CO_2 A C_i Y LUZ SATURANTE (A_{MAX}), VELOCIDAD MÁXIMA DE CARBOXILACIÓN DE LA RUBISCO ($V_{C,MAX}$), TASA MÁXIMA DE TRANSPORTE DE ELECTRONES QUE CONTRIBUYE A LA REGENERACIÓN DE LA RuBP (J_{MAX}) Y LIMITACIÓN ESTOMÁTICA (L_S) A PARTIR DE LAS CURVAS A/C_i PARA LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS (C, CONTROL; R, REBROTES) Y ESTACIONES

		Tratamiento	
		C	R
A_{max} (µmol · m^{-2} · s^{-1})	Invierno	6.6 ± 0.5^{aB}	7.2 ± 0.3^{aB}
	Verano	1.1 ± 0.2^{aA}	3.4 ± 0.5^{bA}
$V_{c,max}$ (µmol · m^{-2} · s^{-1})	Invierno	30.7 ± 2.8^{aB}	31.8 ± 1.6^{aA}
	Verano	13.5 ± 4.0^{aA}	29.9 ± 2.3^{bA}
J_{max} (µmol · m^{-2} · s^{-1})	Invierno	63.4 ± 4.9^{aB}	66.8 ± 2.8^{aB}
	Verano	17.1 ± 4.1^{aA}	34.9 ± 4.3^{bA}
l_s (%)	Invierno	26.2 ± 1.5^{bA}	21.9 ± 1.1^{aA}
	Verano	51.6 ± 3.9^{bB}	37.5 ± 3.0^{aB}

Cada valor representa la media ± SE de 10 réplicas. Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se indican mediante letras distintas (tratamiento (a, b, c), estación (A, B)).

Con la progresión de sequía de invierno a verano, se observaron cambios morfológicos: bajo disponibilidad hídrica baja las hojas tendieron a ser menores (LA), característica frecuente en especies esclerófilas perennifolias (Gratani y Bombelli, 1999). La mejora hídrica en rebrotes se evidenció en hojas mayores. CF también mostró áreas mayores atribuibles a su ambiente menos soleado. Con mayor sequía se observaron LMA mayores: los R mostraron valores menores en verano. Mayores LMA en controles estuvieron asociados con tasas de A menores de acuerdo con Gulías *et al.* (2003).

Cuadro N° 3
COMPOSICIÓN QUÍMICA FOLIAR. CF CONTROL BOSQUE, C CONTROL, R REBROTES, TNC CARBOHIDRATOS TOTALES NO ESTRUCTURALES

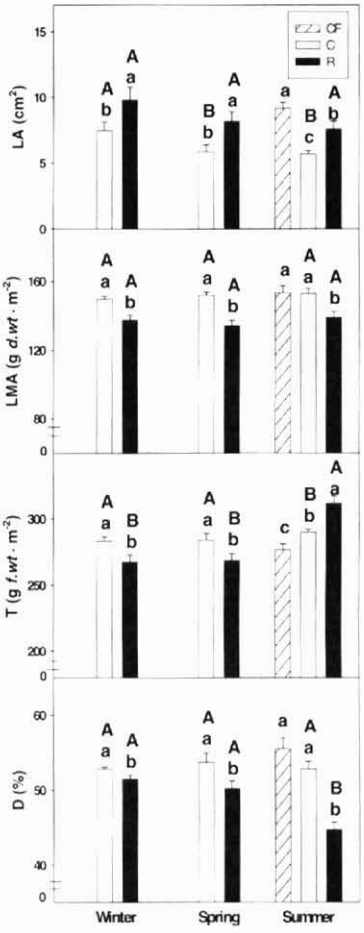
$g \cdot m^{-2}$		Tratamiento		
		CF	C	R
Nitrógeno	Invierno	---	2.57 ± 0.26^{aA}	2.36 ± 0.12^{aA}
	Primavera	---	2.20 ± 0.07^{aA}	2.01 ± 0.06^{aB}
	Verano	2.22 ± 0.14^{a}	2.05 ± 0.10^{aA}	1.99 ± 0.05^{aB}
Almidón	Invierno	---	5.03 ± 1.93^{aA}	8.02 ± 1.44^{aA}
	Primavera	---	9.39 ± 0.80^{aB}	9.28 ± 0.51^{aA}
	Verano	11.88 ± 0.04^{a}	11.05 ± 0.31^{aB}	10.57 ± 0.33^{aA}
Azúcares solubles	Invierno	---	11.45 ± 2.61^{aA}	10.16 ± 0.85^{aA}
	Primavera	---	11.40 ± 0.91^{aA}	9.08 ± 0.61^{bA}
	Verano	11.66 ± 0.63^{a}	12.15 ± 0.42^{aA}	9.51 ± 0.28^{bA}
Lípidos	Invierno	---	19.95 ± 4.06^{aA}	17.14 ± 1.82^{aA}
	Primavera	---	22.30 ± 1.07^{aA}	16.13 ± 1.00^{bA}
	Verano	24.33 ± 1.25^{a}	23.61 ± 0.92^{aA}	18.68 ± 0.57^{bA}
TNC	Invierno	---	16.48 ± 4.54^{aA}	18.18 ± 2.26^{aA}
	Primavera	---	20.79 ± 1.40^{aA}	18.36 ± 0.84^{aA}
	Verano	23.54 ± 0.59^{a}	23.20 ± 0.66^{aA}	20.09 ± 0.47^{bA}
Hemicelulosa	Invierno	---	25.56 ± 2.68^{aA}	23.85 ± 1.01^{aA}
	Primavera	---	26.01 ± 0.85^{aA}	22.45 ± 0.68^{bA}
	Verano	27.89 ± 0.87^{a}	26.96 ± 0.71^{aA}	25.15 ± 0.75^{aA}
Celulosa	Invierno	---	34.91 ± 1.88^{aA}	30.01 ± 1.76^{aA}
	Primavera	---	33.25 ± 0.77^{aA}	30.02 ± 0.96^{bA}
	Verano	39.10 ± 0.08^{a}	33.96 ± 0.56^{bA}	31.78 ± 1.01^{bA}
Lignina	Invierno	---	31.72 ± 0.26^{aA}	24.11 ± 1.85^{bA}
	Primavera	---	26.66 ± 0.67^{aB}	22.76 ± 0.77^{bA}
	Verano	28.41 ± 1.96^{a}	24.81 ± 0.99^{abB}	22.05 ± 1.01^{bA}

Los valores corresponden a la media ± SE de 10 réplicas. Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se indican mediante letras distintas (tratamiento a, b, c, estación A, B)

También se observó un contenido similar de N (Cuadro N° 3) en controles y rebrotes a pesar de las menores tasas fotosintéticas en C. Esta observación confirma que existe una relación entre LMA elevados en esclerófilos perennifolios y baja inversión de N en componentes fotosintéticos (Field y Mooney, 1986) que podría ser responsable del incremento de la limitación no estomática de la fotosíntesis bajo estrés severo tal como se observó en los controles.

Se estudió la relación entre LMA y sus dos componentes: densidad foliar (D) y grosor (T) ya que pueden variar independientemente en respuesta a la disponibilidad hídrica, nutricional y luminosa (Witkowski y Lamont 1991). LMA no varió durante el estudio, pero sí sus componentes en la vegetación de rebrote: D disminuyó y T aumentó de primavera a verano al aumentar la sequía (Figura N° 4). Mediavilla *et al.* (2001) mostraron el hecho de que hojas más gruesas tienden a mostrar una menor densidad de tejido. Las variaciones observadas de los componentes de las paredes celulares (hemicelulosa, celulosa y lignina) (Cuadro N° 3), siguen el mismo patrón que la densidad foliar: menores contenidos de celulosa y lignina en los rebrotes que en los controles en primavera y verano.

INFOR

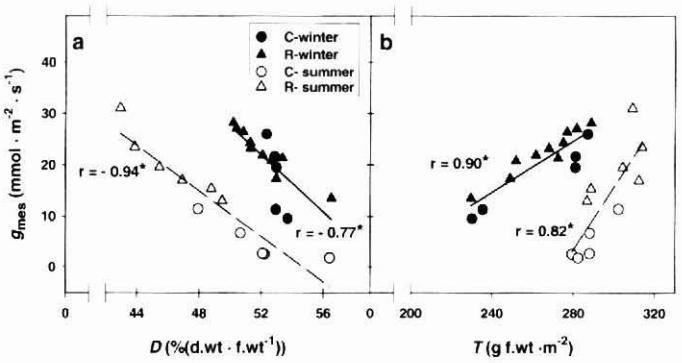


Cada valor representa la media ± SE de 30 medidas.
Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se indican mediante letras distintas (tratamiento a, b, c, estación A, B)

Figura N° 4
ÁREA MEDIA POR HOJA (LA), PESO ESPECÍFICO FOLIAR (LMA), DENSIDAD FOLIAR (D) Y GROSOR FOLIAR (T); (CF CONTROL BOSQUE; C CONTROL Y R, REBROTES).

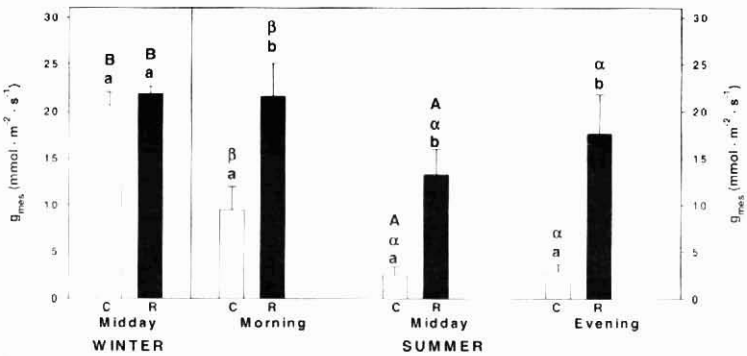
Los cambios estructurales pueden favorecer una mayor g_{mes} en los rebrotes facilitando la difusión de CO_2 en el mesófilo y contribuyendo al aumento fotosintético. En efecto, g_{mes} se correlacionó negativamente con D y positivamente con T (Figura N° 5; Niinemets 1999). Los valores de g_{mes} se redujeron con el estrés hídrico desde invierno a verano (Figura N° 6) tal como se ha descrito en otras especies (Renou *et al.*, 1990; Flexas *et al.*, 2002), y se observaron variaciones a lo largo del dia. Tanto las variaciones estacionales como diurnas

de g_{mes} transcurrieron en paralelo a los cambios en A y Amax, hecho que podría indicar una regulación a la baja de la fotosíntesis en respuesta a niveles sostenidos y bajos de CO_2 (Flexas *et al.*, 2006). Los valores bajos de g_{mes} respecto a los de g_s sugieren una fuerte contribución de g_{mes} al declive general de la difusión de CO_2 durante la sequía.



Los asteriscos indican correlaciones estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$)

Figura N° 5
CONDUCTANCIA DEL MESÓFILO AL CO_2 (G_{MES}) VS. DENSIDAD FOLIAR (D) (A) Y GROSOR FOLIAR (T) (B) EN INVIERNO (NEGRO) Y VERANO (BLANCO).



En verano se consideró también el momento del día.
Cada valor representa la media ± SE de 30 medidas.
Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se indican mediante letras distintas (tratamiento (a, b, c), estación (A, B) y momento del día (α, β)).

Figura N° 6.
CONDUCTANCIA DEL MESÓFILO AL CO_2 (G_{MES}) (C, CONTROL Y R, REBROTES)

A pesar de la relación observada entre g_{mes} y D y T, se observó la presencia de dos correlaciones diferentes en invierno y verano, indicativa de la existencia de otro factor subyacente a las variaciones de g_{mes}. Además, las variaciones observadas de g_{mes} a lo largo del día no pueden ser explicadas por variaciones en la morfología foliar, sino que deberían atribuirse a

cambios fisiológicos y/o bioquímicos. Tanto la anhidrasa carbónica (Gillon y Yakir, 2000), como las acuaporinas cloroplásticas (Terashima y Ono, 2002, Flexas *et al.*, 2004 y Hanba *et al.*, 2004) podrían jugar un papel regulador importante de la g_{mes}.

CONCLUSIONES

Los rebrotes de encina presentaron una mayor actividad fotosintética y mejor estado hídrico en época de sequía. Esta mejora funcional está asociada a cambios en la estructura y composición química foliar que conllevaron valores mayores de conductancia del mesófilo al CO_2 y como resultado una mayor capacidad fotosintética que pueda contribuir al mejor comportamiento tras una perturbación en zonas propensas a la sequía.

REFERENCIAS

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

Demmig-Adams, B,, Adams, III W.W., 1996. Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among plant species. Planta 198, 460-470

Dijkstra, P., 1989. Cause and effect of differences in specific leaf area. In: Lambers H et al. (eds) Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands, pp 125-140

Epron, D., Godard, D., Cornic, G., Genty, B., 1995. Limitation of net CO_2 assimilation rate by internal resistances to CO_2 transfer in the leaves of two tree species (Fagus sylvatica L. and Castanea sativa Mill.). Plant Cell and Environment 18, 43-51

Farquhar, G.D., Sharkey, T.D., 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review Plant Physiology 33, 317–345.

Field, C., Mooney, H.A., 1986. The photosynthesis-nitrogen relationships in wild plants. In: Givinish TJ (ed) On the economy of plant form and function. Cambridge University Press, Cambridge, England, pp 25-56

Fleck, I., Grau, D., Sanjosé, M. and Vidal, D., 1996. Influence of fire and tree-fell on physiological parameters in *Quercus ilex* resprouts. Annals of Forest Science 53, 337-346

Fleck, I., Hogan, K.P., Llorens, L., Abadía, A. and Aranda, X., 1998. Photosynthesis and photoprotection in *Quercus ilex* resprouts after fire. Tree Physiology 18, 607-614

Flexas, J., Bota, J., Escalona, J.M., Sampol, B. and Medrano, H., 2002. Effects of drought on photosynthesis in gravepines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. Functional Plant Biology 29, 461-471

Flexas, J., Bota, J. Loreto, F., Cornic, G. and Sharkey T.D., 2004. Diffusive and metabolic

limitations to photosynthesis under drought and salinity in C_3 plants. Plant Biology 6, 269-279.

Flexas, J., Ribas-Carbó. M., Bota, J., Galmés, J., Henkle, M., Martinez-Cañellas, S., Medrano, H., 2006. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO_2 concentration. New Phytol. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01794.x

Genty, B., Briantais, J.M. and Baker, N.R., 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochemical Biophysical Acta 990, 87-92

Gillon, Jim and Yakir, Dan, 2000. Internal Conductance to CO_2 Diffusion and $C^{18}OO$ Discrimination in C_3 Leaves Plant Physiology 201-214.

Gratani, L. and Bombelli, A., 1999. Leaf anatomy, inclination, and gas exchange relationships in evergreen sclerophyllous and drought semideciduous shrub species. Photosynthetica 37, 573-585

Gulías, J., Flexas, J., Mus, M., Cifre, J., Lefi, E. and Medrano, H., 2003. Relations between maximum leaf photosynthesis, nitrogen content and specific leaf area in Balearic endemic and non-endemic Mediterranean species. Annals of Botany 92,215-222

Hanba, Y.T., Shibasaka, M., Hayashi, Y., Hayakawa, T., Kasamo, K., Terashima, I., Katsuhara, M., 2004. Overexpression of the barley aquaporin HvPIP2;1 increases internal CO_2 conductance and CO_2 assimillation in the leaves of transgenic rice plants. Plant Cell Physiol. 45, 21-529.

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Drai, X., Maskell, K. and Johnson, C.A. eds., 2001. Climate change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I in the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 251p

Kooten, O.V., Snel, J.F.H., 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. Photosynthesis Research 25, 147-150.

Kruger, E.L. and Reich, P.B., 1997. Response of hardwood regeneration to fire in mesic forest openings. II Leaf gas exchange, nitrogen concentration and water status. Canadian Journal of Forest Research 27, 1832 1840

Loreto, F., Di Marco, G., Tricoli, D. and Sharkey, T.D., 1994. Measurements of mesophyll conductance, photosynthetic electron transport and alternative electron links of field grown wheat leaves. Photosynthesis Research 41, 397-403

Lawlor, D.W. and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell and Environment 25, 275-294

INFOR

Mc Murtrie, R.E. and Wang, Y-P., 1993. Mathematical models of the photosynthetic responses of tree stand to rising CO_2 concentrations and temperatures. Plant Cell Environment 16, 1–13.

Mediavilla, S., Escudero, A. and Heilmeier , H., 2001. Internal leaf anatomy and photosynthetic resource-use efficiency: interspecific and intraspecific comparisons. Tree Physiology 21, 251-259

Méthy, M., Damesin, C. and Rambal, S., 1996. Drought and photosystem II activity in two Mediterranean oaks. Annals Forest Science 53, 255-262

Mouillot, F., Rambal, S. and Joffre, R., 2002. Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem. Global Change Biology 8, 423-437

Niinemets, Ü., 1999. Research review. Components of leaf mass per area –thickness and density- alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. New Phytologist 144, 35-47

Niinemets, Ü., 2001. Global-scale climatic controls of leaf mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. Ecology 82, 453-469

Niinemets, U., Cescatti, A., Rodeghiero, M. and Tosens, T., 2005. Leaf internal diffusion conductance limits photosynthesis more strongly in older leaves of Mediterranean evergreen broad-leaved species. Plant Cell Environment 28: 1552–1566.

Oxborough, K. and Baker, N.R., 1997. Resolving chlorophyll a fluorescence images of photosynthetic efficiency into photochemical and non-photochemical components- calculation of q_P and F'_v/F'_m without measuring F'_o. Photosynthesis Research 54, 135-142

Peña-Rojas, K., Aranda. X. and Fleck, I., 2004. Stomatal limitation to CO_2 assimilation and down-regulation of photosynthesis in Quercus ilex L. resprouts under slowly-imposed drought. Tree Physiology 24, 813-822

Peña-Rojas, K., Aranda, X., Joffre. R. and Fleck, I., 2005. Leaf morphology, photochemistry and water status changes in resprouting Quercus ilex during drought. Functional Plant Biology 32, 117-130.

Renou, J.L., Gerbaud, A., Just, D. and André, M., 1990. Differing substomatal and chloroplastic concentrations in water-stressed wheat. Planta 182, 415-419.

Saruwatari, M.W. and Davis, S.D., 1989. Tissue water relations of three chaparral shrub species after wildfire. Oecologia 80, 303-308

Tenhunen, J.D., Pearcy, R.W. and Lange, O.L., 1987. Diurnal variations in leaf conductance and gas exchange in natural environments. In: Zeiger E, Farquhar GD, Cowan IR (eds) Stomatal function. Stanford University Press, Stanford, California, USA, pp 323-352

INFOR

Terashima, I., Miyazawa. S.I. and Hanba ,Y.T., 2001. Why are sun leaves thicker than shade leaves?-consideration based on analyses of CO_2 diffusion in the leaf. Journal of Plant Research 114, 93-105

Witkowski, E.T.F. and Lamont, B.B., 1991. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. Oecologia 88, 486-493

INFOR

ESTRATEGIAS PARA LA RESTAURACIÓN DE PAISAJES FORESTALES EXPERIENCIAS EN MISIONES, ARGENTINA

Florencia Montagnini[1] Beatriz Eibl[2] Roberto Fernández[2,3], Matthew Brewer[1]

RESUMEN

La restauración de ecosistemas forestales degradados se puede beneficiar con la implementación de estrategias diversificadas para generar ingresos. Estas estrategias disminuyen el riesgo y aumentan la factibilidad de adopción por parte de los agricultores. Las estrategias deben estar adaptadas al tipo de degradación que se encuentre, definida por el grado de deterioro químico y físico de los suelos, invasión de especies agresivas, empobrecimiento de especies, y dificultades en el proceso de sucesión forestal natural. En la provincia de Misiones, Argentina, los proyectos de reforestación y el enriquecimiento forestal de bosques degradados empleando especies nativas, son estrategias viables para mantener la biodiversidad y recuperar el ecosistema forestal.

La Provincia de Misiones tiene menos del 1% de la superficie total del país, pero alberga casi el 40% de la biodiversidad y produce más del 70% de la madera. Misiones ha tenido cambios de uso de la tierra debido al corte de bosques para el establecimiento de plantaciones industriales y cultivos comerciales. Usos de la tierra alternativos son necesarios debido a la agricultura migratoria y al uso de técnicas inadecuadas del manejo de suelos que ha llevado a la degradación de suelos y al abandono de tierras.

En 1990-1991 se ensayó una serie de plantaciones mixtas y sistemas agroforestales con yerba mate (*Ilex paraguariensis*) en sitios con condiciones contrastantes de degradación. *Enterolobium contortisiliquum* y *Astronium balansae* tuvieron el mejor crecimiento en suelos pobres. *Balfourodendron riedelianum*, una especie valiosa en la región tuvo comportamiento excelente en suelos fértiles y con manejo adecuado. La asociación de árboles con la yerba mate fue aparentemente apropiada, ya que las cosechas de yerba mate representan un retorno de la inversión a corto plazo.

En experimentos de enriquecimiento de bosques degradados, en la Reserva Guaraní, a los 13 años las mejores especies fueron *Ocotea puberula*, *Bastardiopsis densiflora*, y *Cordia trichotoma*. Estas especies también tienen efectos beneficiosos sobre los suelos de los bosques degradados. La incorporación de especies con cosecha más temprana tal como la palma, *Euterpe edulis*, puede acelerar el retorno de la inversión.

1-Yale University School of Forestry and Environmental Studies, 370 Prospect Street, New Haven, CT 06511, USA. email: florencia.montagnini@yale.edu
2-Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, (3382) Eldorado, Misiones, Argentina, email: beibl@facfor.unam.edu.ar
2-3 INTA Monte Carlo,(3384) Monte Carlo, Misiones, Argentina, email: rfernandez@montecarlo.inta.gov.ar

INFOR

Resultados de estas investigaciones se están utilizando para estimular la plantación de árboles en proyectos comunitarios, tanto en sistemas agroforestales o de plantaciones a cielo abierto como de enriquecimiento de bosques degradados.

Palabras clave: Forestación Áreas Degradadas, Enriquecimiento Bosques Degradados,

STRATEGIES FOR RESTORATION OF FOREST LANDSCAPES. EXPERIENCES FROM MISIONES, ARGENTINA

SUMMARY

The successful restoration of degraded forest ecosystems can benefit from the implementation of diversified income generation strategies. These strategies may reduce risk and allow for more ready adoption of restoration projects by local farmers. In the Province of Misiones, Argentina, large-scale native-species reforestation projects, coupled with enrichment plantings in degraded forests, are plausible strategies for maintaining biodiversity and forest health.

The Province of Misiones covers less than 1% of the total area of the country, but harbors almost 40% of the biodiversity and produces over 70% of the timber. Misiones had substantial land use changes due to forest clearing for industrial plantations and commercial crops. Alternative land uses are necessary due to shifting agriculture and use of inadequate soil techniques leading to soil degradation and land abandonment.

In 1990-1991 a set of experiments was put in place to test mixed plantations and agroforestry with yerba mate (*Ilex paraguariensis*) on sites with contrasting soil degradation. *Enterolobium contortisiliquum* and *Astronium balansae* showed the best growth on poor soils. *Balfourodendron riedelianum*, a valued tree in this region had excellent performance on fertile soils and with adequate management. The association of trees with yerba mate appeared appropriate, since yerba mate harvests represent a short-term return on investment.

Enrichment experiments were established in 1988-1990 in degraded forests. In the Guaraní Reserve, the best species at thirteen years were *Ocotea puberula*, *Bastardiopsis densiflora*, and *Cordia trichotoma*. These species also have beneficial effects on soils, increasing soil nitrogen and base cation concentrations and thus improving conditions of degraded forests. The incorporation of species with shorter harvest age such as the *Euterpe edulis* palm can accelerate investment returns.

Results of this research are used to stimulate tree planting in community forestry projects, both in open plantation and in enrichment planting of degraded secondary forest.

Key words: Degraded Lands Afforestation, Degraded Forests Enrichment.

INFOR

INTRODUCCION

La Provincia de Misiones, NE de Argentina (25°LS, 45°LO), cubre una superficie de 30.000 km², que representa aproximadamente el 1% de la superficie total del país (Figura N° 1), sin embargo el 70 de la madera de aserrio y más del 85% de la madera compensada del pais proviene de esta Provincia (Gobierno de la Provincia de Misiones, 2003).

El uso predominante de la tierra en Misiones está dado por plantaciones forestales con especies exóticas (*Pinus* spp., *Eucalyptus* spp., *Melia azederach* L., *Toona ciliata* M Roem var Australis, *Paulownia* spp., *Grevillea robusta* A.), plantaciones forestales de árboles nativos como *Araucaria angustifolia* (Bert) Otto Kuntze, cultivos agrícolas perennes como yerba mate (*Ilex paraguariensis*), citrus (*Citrus* spp.), y cultivos anuales de maiz, mandioca y soja, tabaco, ganadería y aprovechamientos comerciales en bosques nativos (Montagnini *et al.*, 2006a, 2006b).



Figura N°1
LOCALIZACIÓN DE LA PROVINCIA DE MISIONES EN EL NE DE ARGENTINA

Las superficies de terrenos abandonados luego de ser utilizados durante décadas por intensa actividad agrícola, generan extensiones importantes de suelo degradado y compactado, que para la Provincia de Misiones significan aproximadamente 600 mil hectáreas (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables y Turismo, 2003).

En los bosques de Misiones, el sistema de diámetro mínimo de corta, que oscila entre 40 y 55 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) según las especies, tiene una serie de efectos indeseables. Por ejemplo, se extraen todos los individuos adultos que servirían como semilleros para las generaciones futuras. Esto favorece el crecimiento de especies heliófilas invasoras, tales como bambúseas en el sotobosque, debido a la amplia apertura del dosel realizada con la extracción, lo cual tiende a impedir la regeneración de especies arbóreas umbrófilas (Montagnini *et al.*, 1997, 1998).

INFOR

Entre las alternativas planteadas para la recuperación de los bosques degradados y secundarios se plantea la recomposición de la masa forestal mediante técnicas de enriquecimiento con especies arbóreas. El enriquecimiento es una opción para cuando la regeneración natural es insuficiente y las características del suelo son poco indicadas para otros usos. El enriquecimiento consiste en la introducción de especies arbóreas valiosas en bosques degradados sin eliminar los árboles presentes. El enriquecimiento puede incluir árboles frutales o de otros usos alternativos.

La restauración de ecosistemas forestales degradados se puede beneficiar con la implementación de estrategias diversificadas para generar ingresos. Estas estrategias disminuyen el riesgo y aumenta la factibilidad de adopción por parte de los agricultores. Las estrategias deben estar adaptadas al tipo de degradación que se encuentre, definida por el grado de deterioro químico y físico de los suelos, invasión de especies agresivas, empobrecimiento de especies, y dificultades en el proceso de sucesión forestal natural.

En Misiones, los proyectos de reforestación y el enriquecimiento forestal de bosques degradados empleando especies nativas, son estrategias viables para mantener la biodiversidad y recuperar el ecosistema forestal.

El conocimiento de especies nativas que al mismo tiempo son económicamente valiosas y contribuyen a la recuperación de la fertilidad de los suelos es especialmente relevante porque, además de la eventual mejora de las condiciones de los suelos, la plantación de estas especies provee fuentes de ingreso a los agricultores. Las especies nativas además de su madera de alto valor comercial pueden estar mejor adaptadas al ecosistema local. Muchas especies que tradicionalmente son extraídas del bosque natural para fines maderables actualmente están en peligro de extinción, por este motivo las plantaciones comerciales con las mismas especies podrían reemplazar esta demanda.

En la Provincia de Misiones son pocas las experiencias de plantaciones con especies forestales nativas a cielo abierto. La Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (UNAM), en colaboración con la Universidad de Yale (USA), mantiene desde 1989 investigaciones sobre la ecología de especies forestales nativas de la selva subtropical misionera, y su utilización en sistemas de producción (Eibl y Montagnini, 1998).

En la Provincia de Misiones las experiencias de enriquecimiento de bosques degradados datan de la década de los 1960. Mangieri (1965) y Cozzo (1969) recomiendan el uso de *Cedrela fissilis*, *Cordia trichotoma*, *Tabebuia ipe* y *Myrocarpus frondosus* para su implantación bajo cubierta, dado que estas especies son sensibles a las heladas, lo cual dificulta su plantación a cielo abierto. Gartland (1974) describe un ensayo ubicado en Puerto Península, al NE de la Provincia, donde se utilizó *Melia azedarach var. gigantea, Balfourodendron riedelianum* y *Cordia trichotoma* bajo cubierta de bosque secundario. A los dos años estas especies superaron al dosel del bosque secundario de 4 metros de altura. Sánchez *et al.* (1993) al N de la provincia ensayaron un grupo de especies nativas y exóticas, dando recomendaciones específicas de manejo, estimativas de turnos de cortas y evaluación económica de las prácticas.

En el presente trabajo se informa sobre el comportamiento de especies forestales

INFOR

nativas de potencial productivo con posible adaptación a sitios degradados y se describen ensayos de enriquecimiento con especies arbóreas maderables nativas, realizados en bosques explotado por diámetro mínimo, en los cuales la situación de la masa remanente no justificaba aprovechamientos futuros a mediano y largo plazo.

OBJETIVOS

Evaluar la adaptación y crecimiento de especies en sitios degradados en diferentes condiciones de plantación como cultivo puro o mixto y en combinaciones agroforestales, y evaluar plantaciones de enriquecimiento con especies maderables nativas en bosques naturales empobrecidos por explotación.

REFORESTACION DE AREAS DEGRADADAS CON ARBOLES NATIVOS

Materiales y Métodos

- Sitios de Estudio

Las investigaciones se realizaron en tres sitios que habían sostenido diferentes usos de la tierra y presentaban, al momento de comenzar los ensayos, diferentes grados de degradación. El clima se clasifica como Cfa en el sistema de Köppen, que corresponde a un clima subtropical húmedo sin estación seca, con precipitación media anual de 1700 mm, distribuida equitativamente a lo largo del año, y media anual de temperatura de 21°C, con máximas absolutas de 39 °C (Enero) y mínimas absolutas de -6 °C (Julio) (Eibl et al., 2001).

El sitio más degradado (Sitio 1) fue un terreno utilizado durante 40 años para cultivos agrícolas.

El Sitio 2 se encontraba medianamente degradado, consistiendo en un campo cubierto por pastos invasores (*Andropogum* spp., *Pennisetum* spp.). Este sitio había sido abandonado luego de aproximadamente 20 años de agricultura mecanizada intensiva.

El Sitio 3 fue el de menor degradación. Su uso anterior fue una plantación de tung (Aleuritis fordii Forst.) por aproximadamente 20 años, establecida luego de aprovechar el bosque nativo.

Al momento de la instalación de los ensayos se realizaron relevamientos de suelo, con muestras al azar de las diferentes parcelas y una calicata para evaluar y describir el perfil del sitio. (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS
ANTES DE REALIZAR LAS PLANTACIONES PARA LOS TRES SITIOS

Sitio	Espesor (cm)	MO (%)	Nt (%)	P (ppm)	pH (en H_2O)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Suma de bases ($cmol^{+}/kg$)	CIC ($cmol^{+}/kg$)
						($cmol^{+}/kg$)				
Sitio 1	0-10	2,1	0,09	1,5	5,2	4,3	1,1	0,20	5,6	7,7
	10-30	0,9	0,07	1,0	5,1	3,6	1,0	0,09	4,7	7,0
Sitio 2	0-10	2,6	0,24	3,2	5,2	5,8	1,5	0,29	7,6	10,7
	10-30	1,4	0,12	1,3	4,7	4,2	0,9	0,11	5,2	8,7
Sitio 3	0-10	3,9	0,31	5,4	5,4	8,6	2,3	0,41	11,3	19,6
	10-30	2,3	0,20	4,4	4,6	6,4	1,3	0,21	7,9	12,8

- Especies Ensayadas

Las especies ensayadas fueron:

Enterolobium contortisiliquum (Vellozo) Morong	Fabaceae	timbó colorado
Lonchocarpus muehlbergianum Hassler	Fabaceae	rabo molle
Astronium balansae Engl.	Anacardiaceae	urunday
Peltophorum dubium (Sprengler) Taubert	Fabaceae	cañafístola
Balfourodendron riedelianum (Engler) Engler	Rutaceae	guatambú blanco
Tabebuia heptaphylla (Vellozo) Toledo	Bignoniaceae	lapacho negro

Estas especies fueron seleccionadas según experiencias anteriores por su potencial para el crecimiento a cielo abierto y sus posibles impactos positivos sobre los suelos (Montagnini *et al.*, 1995; Fernández *et al.*, 1997; Eibl y Montagnini, 1998), así como por su valor maderable. Entre estas especies dos están referenciadas como fijadoras de nitrógeno (timbó colorado y rabo molle).

- Diseño Experimental

Sitio 1: Cuatro bloques al azar con seis parcelas cada una, con cuatro repeticiones por tratamiento.

Tratamiento 1: *Enterolobium contortisiliquum* (timbó colorado), fecha de plantación agosto de 1990.

Tratamiento 2: *Peltophorum dubium* (caña fistola), agosto de 1995.

Tratamiento 3: *Astronium balansae* (urunday), agosto de 1993. Estas dos últimas especies reemplazaron a *Bastardiopsis densiflora* (Hooker&Arnott) Hassler (loro blanco)

INFOR

y a *Balfourodendron riedelianum*, las cuales no se adaptaron al sitio y fueron descartadas

Tratamiento 4: *Lonchocarpus muehlbergianum* (rabo molle), agosto de 1990.

Tratamiento 5: Mezcla de las cuatro especies intercaladas (timbó colorado, caña fistola, urunday y rabo molle).

Tratamiento 6: Testigo con pasto natural (sin árboles).

Los tamaños de las parcelas fueron de 18 x 18 m y las distancias de plantación de los ejemplares de 3 x 3 m.

Sitio 2 y Sitio 3: Los tratamientos forman parte de ensayos agroforestales con especies maderables nativas asociadas con yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire (Aquifoliaceae) (Eibl *et al.*, 1997, 1998, 2000). La fecha de plantación fue agosto de 1991 y agosto 1993 para *Tabebuia heptaphylla*. El diseño consistió de cuatro bloques con cuatro parcelas cada una y con cuatro repeticiones por tratamiento.

Tratamiento 1: *Enterolobium contortisiliquum* (timbó) plantados a 3 m x 6 m, ó 555 plantas por hectárea, en líneas alternadas con yerba.

Tratamiento 2: *Balfourodendron riedelianum* (guatambú) plantado a 3 m x 6 m, ó 555 plantas por hectárea, en líneas alternadas con yerba.

Tratamiento 3: *Balfourodendron riedelianum* (6 m x 6 m) y E. contortisiliquum (6 m x 6 m). Estos se dispusieron en líneas mixtas alternadas con líneas de Ilex paraguariensis.

Tratamiento 4: Testigo, *Ilex paraguariensis* sola como cultivada tradicionalmente en la zona (3 m x 1,5 m, 2222 plantas por hectárea). Además en el Sitio 2, se incluyó *Tabebuia heptaphylla* (lapacho negro) (3 m x 6 m) en líneas alternadas en plantaciones de yerba.

Cada parcela fue de 15 x 15 m. En los tres sitios se realizaron mediciones anuales de crecimiento en altura, diámetro a la altura del pecho, supervivencia y observaciones generales.

- Resultados

Crecimientos y Supervivencias de las Especies para cada Sitio

Sitio 1

La medición realizada en diciembre de 2004 (Cuadro N° 2), cuando las especies tenían entre 9 y 14 años reveló que los mayores diámetros y alturas se encontraban en las parcelas de timbó (con 14 años) tanto para la situación pura como mixta. En segundo lugar le sigue el

urunday (con 11 años) tanto para la situación pura como mixta. En tercer lugar, cañafístola con mayor diámetro y altura para las plantaciones mixtas y con una menor supervivencia. Rabo molle tuvo el menor crecimiento tanto en diámetro como altura. Las supervivencias fueron superiores en el caso de plantación mixta.

Cuadro N° 2
CRECIMIENTO EN DIÁMETRO, ALTURA Y SUPERVIVENCIA DE CUATRO ESPECIES FORESTALES NATIVAS EN CONDICIONES PURAS Y MIXTAS

ESPECIE	DIAMETRO (cm)	ALTURA (m)	SUPERVIVENCIA (%)
Enterolobium contortisiliquum puro	25,4 a	11.82 a	46 c
Enterolobium contortisiliquum mixto	25,3 a	10,6 a	70 a
Peltophorum dubium puro	8,45 c	6,6 d	78 a
Peltophorum dubium mixto	10,2 b	9,2 b	56 c
Astronium balansae puro	10,2 b	9,2 d	59 b
Astronium balansae mixto	10,9 b	8,2 c	78 a
Lonchocarpus muehlbergianum puro	7,4 d	4,4 e	48 c
Lonchocarpus muehlbergianum mixto	2,8 e	2,7 f	28 d

Sitio 1. Mediciones diciembre de 2004. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.
(Fuente: Montagnini *et al.*, 2006b)

Ambas especies consideradas fijadoras de nitrógeno (timbó y rabo molle) presentaron las menores supervivencias, a pesar de que se realizaron reposiciones hasta el tercer año. El timbó requirió podas de corrección del fuste en forma anual y el rabo molle presentó crecimientos lentos. Para cañafístola no se han realizado reposiciones, y se realizaron solamente algunas podas de corrección del fuste ya que su crecimiento es marcadamente monopódico. Todas las especies debieron ser protegidas contra las heladas por uno a dos inviernos luego de plantadas, utilizándose para ello el material vegetal que se encontró en el sitio. Las mejores resistencias a heladas se observaron en urunday, especie que también presentó elevadas tolerancias a situaciones de sequías.

Sitio 2

La medición realizada en diciembre de 2004 (Cuadro N° 3), cuando las especies tenían entre 11 y 13 años, mostró que el timbó (con 13 años) presentó los mayores diámetros, pero las menores alturas y la menor supervivencia. El lapacho negro (con 11 años) le sigue en diámetro. El guatambú blanco (con 13 años) presentó menor diámetro, pero la misma altura y supervivencia que el lapacho. Se efectuaron podas anuales de corrección del fuste para el timbó y lapacho. En guatambú se realizaron solamente algunas podas de corrección del fuste ya que su crecimiento es marcadamente monopódico. Todas las especies debieron ser protegidas contra las heladas por uno a dos inviernos, luego de

INFOR

la plantación, hasta que lograron resistencia natural con la altura (aproximadamente a los 1,5 metros, altura a la que además de una mayor resistencia de la planta, también las temperaturas mínimas son mayores).

Cuadro N° 3
CRECIMIENTO EN DIÁMETRO, ALTURA Y SOBREVIVENCIAS DE TRES ESPECIES FORESTALES NATIVAS EN COMBINACIONES AGROFORESTALES

ESPECIE	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (m)	SUPERVIVENCIA (%)
Enterolobium contortisiliquum	19,3 a	7,92 a	46 b
Balfourodendron riedelianum	9,85 c	8,2 a	92 a
Tabebuia heptaphylla	14,9 b	7,9 a	90 a

Sitio 2. Mediciones diciembre de 2004. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.
(Fuente: Montagnini *et al.*, 2006b)

Sitio 3

La medición realizada en diciembre de 2004 (Cuadro N° 4), mostró que el guatambú (a los 12 años) presentó la mayor altura y supervivencia, mientras que el timbó tuvo mayor diámetro. Se efectuaron podas de corrección del fuste para el timbó y guatambú. El guatambú debió ser apuntalado durante los primeros años para evitar la caída por viento debido a su rápido crecimiento. Ambas especies debieron ser protegidas contra las heladas por uno a dos inviernos siguientes a la plantación.

Cuadro N° 4
PROMEDIOS EN DIÁMETRO, ALTURA Y SOBREVIVENCIA PARA DOS ESPECIES FORESTALES NATIVAS EN COMBINACIONES AGROFORESTALES

ESPECIE	DIAMETRO (cm)	ALTURA (m)	SUPERVIVENCIA (%)
Enterolobium contortisiliquum	16,9 a	7,7 b	62 b
Balfourodendron riedelianum	15,7 b	11,3 a	75 a

Sitio 3. Mediciones diciembre de 2004. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.
(Fuente: Montagnini *et al.*, 2006b)

- Discusión

El resultado más importante en términos de crecimiento de los árboles es el excelente comportamiento de *B. riedelianum*, una de las especies más apreciadas de la región (Eibl *et al.*, 1998). Aparentemente esta especie crece bien en buenas condiciones de suelos (fertilidad y manejo adecuado), como se observa por las mejores alturas alcanzadas en el Sitio 3, mientras que en el Sitio 1, esta especie no se adaptó a pesar de realizarse reposiciones por un total de tres años, debido a la alta degradación de este sitio. En el Sitio 2, esta especie creció pobremente

durante el primer par de años, posiblemente debido a la baja fertilidad del suelo. Sin embargo, pasada la etapa crítica del establecimiento, esta especie presentó un buen crecimiento en suelos con condiciones nutricionales pobres. Los niveles de crecimiento mostrados para el Sitio 3 de Santiago de Liniers superan los encontrados en otras experiencias en la región donde *B. riedelianum* ha sido ensayado en plantaciones de enriquecimiento (Montagnini *et al.*, 1997).

E. contortisiliquum se destacó por tener el mejor crecimiento en el sitio más degradado (Sitio 1), sugiriendo su utilización para recuperación de suelos pobres. En una investigación realizada cuando los árboles tenían 9 años se encontró mayor contenido de nitrógeno en el suelo superficial bajo esta especie que en las parcelas testigo con pastos (Méndez y Steitzer 1999). La susceptibilidad del *E. contortisiliquum* al ataque de *Epicauta adspersa* ("bicho moro") sugirió dudas acerca de la posibilidad de establecer esta especie en condiciones de plantación a cielo abierto. Sin embargo los ataques fueron intensos únicamente para el caso del sitio de menor degradación y solamente afectaron a los árboles en sus estadíos iniciales. En otros experimentos de la región, *E. contortisiliquum* presenta buen crecimiento en ensayos de enriquecimiento (Montagnini et al., 1997).

El *T. heptaphylla*, para el Sitio 2 manifestó un buen crecimiento ya que aún plantado dos años después superó a *B. riedelianum* en diámetro y la igualó en altura. La elevada mortandad de árboles de *A. balansae y P. dubium* en el Sitio 1 pudo estar explicada por la compactación del suelo, que no permitió que las raíces exploraran en profundidad para el abastecimiento de agua ante condiciones de sequía. Ambas especies presentaron rebrote de cepa de aproximadamente el 20% de los ejemplares muertos en pie, con fustes de 1,5 metros en promedio al año. Esto sugiere la posibilidad de conducción de ambas especies a partir del rebrote de cepa. En el Sitio 2 las plantaciones en asociación con *I. paraguariensis* no afectaron las producción de hoja verde en función a los datos de peso seco de la misma al momento de la cosecha (Eibl *et al.*, 2000).

Las plantaciones mixtas tuvieron beneficios en el Sitio 1 para todas las especies a excepción del *L. muehlbergianum*. El beneficio de las plantaciones mixtas para *E. contortisiliquum* y *A. balansae* fue de una mayor supervivencia, mientras que para *P. dubium*, la plantación mixta resultó en un mayor diámetro y altura. Otra ventaja de las plantaciones mixtas es su mayor diversidad, con el consecuente beneficio para la restauración de las propiedades del ecosistema.

ENRIQUECIMIENTO DE BOSQUES DEGRADADOS

Materiales y Métodos

- Sitio del Estudio

Los ensayos en estudio se encuentran en la Reserva Guaraní, región de la Selva Subtropical Oriental (Provincia Paranaense) ubicada al NE de Misiones. Esta reserva de más de 5000 ha es manejada por la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAM con fines productivos y de investigación y docencia. El área basal del bosque sobre-explotado fue menor de 10 m^2/ ha. El clima corresponde al mismo tipo Cfa descrito anteriormente. Los suelos son Ultisoles,

INFOR

gran grupo kandiudultes (US Soil Taxonomy), conocidos regionalmente como tierra colorada o suelo rojo profundo. Son arcillosos, con predominancia de sesquióxidos y caolinita, ácidos (pH en agua 5 - 5.5), bien drenados, bien estructurados, profundos, con materia orgánica en superficie generalmente superior a 3%, CIP (Capacidad de Intercambio Catiónico) de 10-20 cmol/kg y porcentaje de saturación de bases mayores del 50%.

- Especies Ensayadas

Se realizó enriquecimiento en fajas con el objetivo de mejorar la composición de la masa arbórea en calidad y cantidad de ejemplares, seleccionando especies que por su potencialidad de crecimiento permitieran un aprovechamiento a corto y mediano plazo (de 15 a 40 años) (Montagnini *et al.*, 1997).

Las especies ensayadas fueron:

Balfourodendron riedelianum
Bastardiopsis densiflora
Cordia trichotoma
Ocotea puberula.

Resultados

Las especies con mejores promedios de altura y DAP a los 13 años fueron *Ocotea puberula*, *Bastardiopsis densiflora*, y *Cordia trichotoma* (Cuadro N° 5). *Ocotea puberula*, especie maderable muy apreciada, había sufrido severos ataques de un coleóptero barrenador, *Oncideres gutturator* Fabr. (Cerambycidae), localmente conocido como "quiritó", "cortapalos", "taladro podador", pero luego de estos ataques los ejemplares de *Ocotea puberula* pudieron rebrotar vigorosamente resultando con los mejores crecimientos de las cuatro especies ensayadas. Le siguieron en crecimiento en altura *Bastardiopsis densiflora* y *Cordia tricotoma.*

Cuadro N° 5
PROMEDIOS DE ALTURA, DIÁMETRO Y SUPERVIVENCIA POR ESPECIE PARA LAS FAJAS DE ENRIQUECIMIENTOS EN GUARANÍ

ESPECIE	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (m)	SUPERVIVENCIA (%)
Balfourodendron riedelianum	4,3 c	5,9 c	75 a
Bastardiopsis densiflora	13,3 b	10,4 a	65 b
Ocotea puberula	19,1 a	9,9 a	75 a
Cordia trichotoma	10,9 b	8,6 b	75 a

Ensayo instalado en 1991. Datos para el año 2004.
Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos
(Fuente: Montagnini *et al.*, 2006b)

Discusión

Los ensayos de Guaraní destacan el comportamiento superior de *Ocotea puberula* y *Bastardiopsis densiflora* en condiciones de enriquecimiento. *Bastardiopsis densiflora* crece bien en bosques secundarios formando rodales densos. Su madera es apreciada por los mercados locales. En experimentos previos sobre el impacto de especies forestales nativas sobre los suelos, las mayores concentraciones de carbono y nitrógeno se encontraron bajo la copa de rodales de esta especie, donde fueron el doble de lo que se encontraba fuera del área de influencia de la copa (Fernández *et al.*, 1997). El pH del suelo asimismo fue superior bajo *Bastardiopsis densiflora* y *Cordia trichotoma* mientras que la suma de bases ($Ca^{++}Mg^{++}K^{+}$) fue mayor bajo *Cordia trichotoma*, *Bastardiopsis densiflora* y *Enterolobium contortisiliquum*. De esta manera, estas especies que tienen buen comportamiento en enriquecimiento también pueden ser beneficiosas al mejorar las condiciones de los suelos en áreas de bosques degradados.

Entre las posibles desventajas del enriquecimiento se citan los costos elevados de apertura de fajas y del cuidado de las plantaciones en los primeros años. Además, las condiciones lumínicas pueden no ser las más favorables para las especies implantadas. Por otro lado, debido a hallarse más expuestas, aumenta la susceptibilidad de las especies implantadas al ataque de plagas. Sin embargo, el manejo del enriquecimiento puede adaptarse a las necesidades de cada bosque. El mantenimiento de la limpieza en las fajas de enriquecimiento favorece el desarrollo de la regeneración natural (Montagnini *et al.*, 1997).

Es necesario ajustar los tratamientos silviculturales no solamente para el establecimiento de la plantación y crecimiento de las líneas sino también para el desarrollo de la regeneración natural entre las líneas. Si se considera en conjunto los ejemplares arbóreos del enriquecimiento y la regeneración natural como la masa en crecimiento para un futuro aprovechamiento, el enriquecimiento se torna una alternativa económicamente más atractiva. Además, la combinación del enriquecimiento de especies maderables con otras como el *Euterpe edulis,* (palmito) o especies frutales, de turno de aprovechamiento más corto, acelera el retorno de la inversión, tornando esta técnica más atractiva.

CONCLUSIONES

En plantaciones destinadas a reforestar sitios con diferentes grados de degradación, para el sitio de mayor degradación química y física, tanto *Enterolobium contortisiliquum* como *Astronium balansae* presentaron muy buena adaptación.

Enterolobium contortisiliquum se destacó más en el sitio de mayor degradación, lo cual indica que es una especie apropiada para la recuperación de sitios degradados.

Balfourodendrum riedelianum y *Bastardiopsis densiflora* no se adaptaron a situaciones de elevada degradación física y química. Asimismo, *Lonchocarpus muehlbergianum* aparentemente es una especie no adaptada a sitios de alta degradación, desconociéndose su respuesta ante mejores condiciones de suelo.

Peltophorum dubium requiere mayor tiempo de estudio y seguimiento en ensayos

de crecimiento y adaptación a sitios de alta degradación. Se trata de una especie de bajos requerimientos nutricionales para un buen crecimiento, pero sensible a las condiciones de compactación por lo que se sugiere una preparación del suelo con subsolado hasta los 60 cm de profundidad.

En las condiciones de mediana fertilidad los mejores resultados se obtuvieron con *Balfourodendron riedelianum* y *Tabebuia heptaphylla*.

El *B. riedelianum* tuvo los mejores crecimientos en el sitio de mejor fertilidad y menor compactación.

En experimentos de enriquecimiento de bosques degradados, en la Reserva Guaraní, a los 13 años las mejores especies fueron *Ocotea puberula*, *Bastardiopsis densiflora*, y *Cordia trichotoma*. Estas especies también tienen efectos beneficiosos sobre los suelos de los bosques degradados. La incorporación de especies con cosecha más temprana tal como la palma Euterpe edulis puede acelerar el retorno de la inversión.

El enriquecimiento agrega valor a bosques sobreexplotados de bajo volumen comercial, previniedo su conversión a otros usos de la tierra.

Con el aumento de la superficie de bosques degradados y bosques secundarios a nivel mundial, el enriquecimiento puede ser un técnica cada vez más importante para la restauración de bosques degradados. En Misiones, los agricultures locales buscan información para seleccionar especies para enriquecimiento de bosques degradados y secundarios.

La Reserva Guaraní se encuentra dentro de la Reserva Yabotí, de más de 250.000 ha, la cual es una Reserva de la Biósfera. A su vez, ambas reservas forman parte del « Corredor Verde », que conecta el bosque misionero con el resto del bosque Paranaense y con la Mata Atlántica del Brasil. De manera que recomendaciones sobre especies y manejo pueden ser utilizadas para promover el buen uso y conservación de estas importantes áreas de bosque subtropical y tropical. Localmente, en la provincia de Misiones, los resultados de estas investigaciones se están utilizando para estimular la plantación de árboles en proyectos comunitarios, tanto en sistemas agroforestales o de plantaciones a cielo abierto como de enriquecimiento de bosques degradados.

REFERENCIAS

Cozzo, D., 1969. Siete años de un ensayo de enriquecimiento del bosque subtropical utilizando *Cordia trichotoma*. Revista Forestal Argentina. Año XIII.n 2. Buenos Aires. Argentina. pp.44-45.

Eibl, B., Montagnini, F., Fernández, R., Kozarik, J., Nozzi, D. y Lupi, A., 1997. Sistemas agroforestales con *Ilex paraguariensis* (yerba Mate) y árboles maderables nativos en pequeñas propiedades en Misiones, Argentina.: Actas Segundo Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Asociación Forestal Argentina. Del 13-15 agosto 1997, Posadas, Misiones, Argentina.. Pp. 1-9.

Eibl, B., Montagnini, F., 1998. El potencial de las especies nativas en programas de plantación. En: VI Jornadas Técnicas. Serie Técnica nº 6. Ecología de Especies Nativas de la Selva Subtropical Misionera. Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales. Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales. Eldorado, Misiones, Argentina. Mayo, 1998. Pp.19-26.

Eibl, B., Fernández, R., Kozarik, J., Lupi, A., Montagnini, F. and Nozzi, D., 2000. Agroforestry systems with *Ilex paraguariensis* (American holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. Agroforestry Systems 48:1-8.

Eibl, B., Silva, F., Bobadilla, A., 2001. Boletin Agrometeorológico Eldorado. Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. UNaM. Período 1985/2001.

Fernández, R., Montagnini, F. y Hamilton, H., 1997. The influence of native tree species on soil chemistry in a subtropical forests of the Paranaense region of Misiones, Argentina. Forest Ecology and Management. 99:237-246.

Gartland, H. M., 1974. Posibilidades de enriquecimiento del bosque subtropical misionero. Boletín Argentino Forestal. Año XXXII. No.298. pp.23-30.

Gobierno de la Provincia de Misiones, 2003. Actitud Forestal. Un mundo de oportunidades para una Misiones estratégica. Subsecretaria de Bosques y Forestaciones. Ministerio de Ecología, Recursos Naturales y Turismo. Posadas, Misiones, Argentina.

Mangieri, H.R., 1965. Reconstitución de los bosques misioneros y características biológicas de las principales especies. En: Primeras Jornadas de trabajo del CEBS. Eldorado - Misiones. p.141-145.

Méndez, R. y Steitzer, E., 1999. Influencia de una especie fijadora de nitrógeno, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong (timbó) sobre la recuperación de un suelo degradado. Informe Final de Proyecto Integradora I. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. Eldorado. Misiones. Pp. 17.

Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo, 2003. Estrategias de desarrollo desde el sur forestal mundial. Plan Maestro Forestal. Memoria 2000 - 2003 y Perspectiva del patrimonio forestal industrial. Formato CD. Gobierno de la Provincia de Misiones.

INFOR

Posadas. Misiones. Argentina.

Montagnini, F., Fernández, R. y Hamilton, H., 1995. Relación entre especies nativas y la fertilidad de los suelos. Parte 1: Contenido de elementos en la biomasa. Yvyraretá (Argentina) 6(6): 5-12.

Montagnini, F., Eibl, B., Grance, L., Maiocco, D. and Nozzi, D., 1997. Enrichment planting in degraded forests of the Paranaense region of Misiones, Argentina. Forest Ecology and Management 99 (1 y 2): 237-246.

Montagnini, F., Eibl, B. y Fernández, R., 2006a. Adaptabilidad y crecimiento de especies forestales nativas de bosque húmedo subtropical en sitios degradados. Yvyraretá (Argentina) 15:10-16.

Montagnini, F., Eibl, B. y Fernandez, R., 2006b. Rehabilitation of degraded lands in Misiones, Argentina. Bois et Forets des Tropiques 288: 51-65.

Sánchez, J. R., Gotz, I. y Segovia, W., 1993. Enriquecimiento de bosques nativos. Implantación bajo cubierta. Tercera comunicación. En: VII Jornadas Técnicas: Ecosistemas Forestales Nativos. Uso, Manejo y Conservación. Facultad de Ciencias Forestales. Eldorado. Misiones. p. 300-308.

INFOR

MODELOS DE CRECIMIENTO PARA *Eucalyptus globulus* EN MONTE BAJO ENTRE LAS REGIONES DE VALPARAÍSO Y LOS LAGOS

Juan Carlos Pinilla S.[1]

RESUMEN

Las plantaciones forestales en Chile alcanzan actualmente a 2,3 millones de hectáreas, están constituidas principalmente por pinos y eucaliptos y proveen casi la totalidad de la madera en trozas para fines industriales en el país.

La superficie plantada con eucaliptos, fundamentalmente *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, se ha más que sextuplicado desde principios de los 90 y actualmente representa algo más de un tercio de los bosques plantados del país.

Las grandes empresas forestales emplean los eucaliptos fundamentalmente para producción de pulpa, con fuerte silvicultura de establecimiento, sin manejo posterior, en corta rotación y solo en forma de monte alto.

Para pequeños y medianos propietarios, una silvicultura más intensiva, en rotación más larga, que ofrezca productos intermedios durante la rotación y madera de mayor valor al fin de esta, parece una alternativa interesante, y, en el caso de *Eucalyptus globulus*, rotaciones posteriores en monte bajo serian otra forma de mejorar la rentabilidad de estos cultivos forestales.

No existe por ahora suficiente información sobre los regímenes de manejo silvícola más adecuados a los cuales con estas especies, razón por la que el Instituto Forestal está desarrollando investigaciones sobre manejo en bosque alto y productos de mayor valor, especialmente para *Eucalyptus nitens*, y para manejo en monte alto y posterior monte bajo para *Eucalyptus globulus*. El presente trabajo entrega resultados obtenidos hasta ahora para el segundo de estos casos, entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, Monte Bajo, Manejo Forestal.

SUMMARY

Forest plantations area in Chile is currently 2.3 million hectares, mainly pines and eucalypts, and provides almost all the round wood for industrial purposes in the country.

The eucalypts planted area, mainly *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*, has increased more than six times from the 90's, and at current represents about one third of the

1-Instituto Forestal, Sede Bío Bío. Concepción, Chile. jpinilla@infor.cl

planted forests in the country.

Big forest companies use eucalypts for pulp production, under intensive establishment treatments, without subsequent management, in short turns, and only under first growth forest regime.

A more intensive silviculture, in longer turns, that could offer intermediate products and higher value wood at the end, seems to be an interesting alternative for small and medium owners, and when *Eucalyptus globulus* is the species, subsequent turns under coppice regime would be another way to improve their incomes.

However, there is not enough information available on the appropriate silvicultural regimes for these species and that is the reason why the Chilean Forest Institute is carrying out research on first growth forest, for high value products in a longer turn, mainly with *Eucalytus nitens*, and first growth and coppice management with *Eucalyptus globulus*. This paper gives results from trials on the second between the Valparaiso and Los Lagos Regions.

Key words: *Eucalyptus globulus*, Coppice. Forest Managemen.

INTRODUCCIÓN

La superficie cubierta por especies del género *Eucalyptus* en Chile alcanza a 639 mil hectáreas y representa el 28% de la superficie total de plantaciones a nivel nacional. Predomina *Eucalyptus globulus* con 479 mil hectáreas y le sigue *Eucalyptus nitens* con 160 mil hectáreas (INFOR, 2008).

El incremento de las plantaciones de *Eucalyptus* en el país ha sido considerable, en el año 1990 existía un total de unas 100 mil hectáreas, la tasa de plantación aumentó en forma importante a cifras en torno a las 50 mil hectáreas por año en los últimos años, e incluso en al año 2006, con 59 mil hectáreas, superó a *Pinus radiata* que registró 52 mil hectáreas (INFOR, 2008).

No contabilizadas dentro del total del género hay superficies menores de plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus cladocalyx, Eucalyptus sideroxylon, Eucalyptus tereticornis* y otras, en la zona norte, y *Eucalyptus regnans* y *Eucalyptus delegatensis*, en la zona sur. El principal destino de las principales de estas especies es actualmente la producción de celulosa, polines y leña.

Las grandes empresas forestales en el país establecen plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* para producción de pulpa principalmente, empleando plantas con material mejorado propagado en forma vegetativa (estaquillas), técnicas intensivas de establecimiento (preparación de suelos, fertilización inicial y control de competencia hasta segundo año), densidad de plantación de 1600 plantas por hectárea, sin manejo posterior, y rotaciones de 10 a 12 años, obteniendo rendimientos cercanos a los 200 m^3/ha.

En general se prefiere *Eucalyptus globulus* por la mayor densidad de su madera, que

INFOR

da una mayor rendimiento en pulpa. *Eucalyptus nitens* en tanto, es plantado en áreas de mayor altitud o mayor incidencia de heladas, donde la primera puede ser afectada, presenta muy buen crecimiento, pero la menor densidad de su madera, unos 50 kg/m^3 menos que *Eucalyptus globulus*, hace que el precio de la madera sea proporcionalmente más bajo.

Entre las alternativas silviculturales utilizadas en las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el pais, se encuentra el manejo de monte bajo, rodal regenerado vegetativamente por retoño proveniente del tocón o de la raiz dejada de la cosecha anterior. Esta alternativa en general no es empleada por las empresas grandes, principalmente debido a que en 10 a 12 años ya disponen de material genéticamente superior para iniciar una nueva plantación.

Empresas y propietarios pequeños y medianos, en tanto, prefieren en general *Eucalyptus globulus*, por el mayor precio de la madera, respecto de *Euycalyptus nitens*, y además porque esta última, si bien retoña en el pais, sus retoños no son lo suficientemente abundantes y vigorosos para asegurar un buen monte bajo, que para ellos representa una posibilidad de incrementar sus beneficios económicos, en cortas rotaciones, sin necesidad de reponer una plantación al fin de cada una de estas. Esto depende evidentemente del sitio, del manejo que se le dé al monte bajo, de la rotación y de los productos que se busque obtener.

El método de monte bajo es recomendable para productos de corta rotación, el volumen a obtener en una primera rotación en monte bajo suele ser superior al de la anterior en monte alto, el rendimiento de la segunda rotación en monte bajo suele igualar a la primera en monte alto, y en adelante es difícil que los brotes puedan superar en producción de madera a una nueva plantación (Ayling y Martins, 1981; Andrade *et al.*, 1997; Camargo *et al.*, 1997; González *et al.*, 1997).

La opción de manejo en monte bajo, por su rápido crecimiento en rotación corta y su bajo costo de establecimiento, dado principalmente por clareo de los múltiples retoños que brotan de la cepa original, resulta muy interesante para obtener productos de valor en un menor número de años (8 a 10 años vs. 10 a 13 años monte alto) y acceder así a diferentes escenarios económicos y de mercados (Pinilla, 2004).

Para productos de mayor valor, como madera, aserrada y chapas, se requieren indudablemente rotaciones más largas. Diversas experiencias de INFOR, en plantaciones experimentales con diferentes especies y procedencias de semillas de *Eucalyptus*, indican que en buenos sitios especies como, *Eucalyptus nitens, Eucalyptus regnans* y *Eucalyptus delegatensis* y *Eucalyptus globulus* muestran crecimientos medios de 77, 63, 50 y 44 m^3/ha/año, respectivamente, a los 15 años de edad en la costa de la Provincia de Arauco, siendo su crecimiento anual corriente a esa edad muy superior (Prado *et al.*, 1986; Prado y Barros, 1989).

Experiencias similares con las mismas especies en la zona de Valdivia señalan un crecimiento anual corriente entre los 13 y 15 años muy alto, que en el caso de una procedencia australiana de *Eucalyptus nitens* llegan a casi 100 m^3/ha/año (Barros, S., INFOR 2009 pers com.).

Los antecedentes de crecimiento señalados en ensayos de INFOR corresponden a parcelas sin manejo, esto es sin podas ni raleos. La densidad inicial era de 2500 árboles por hectárea, por mortalidad natural a los 15 años registraban una densidad en torno a 2000 árboles por hectárea y volúmenes totales por sobre los 660 m^3/ha. Diámetros medios de 21 a 24 cm indican claramente el exceso de competencia por la alta densidad. Estas plantaciones, bajo silvicultura intensiva, habrían mostrado a igual edad probablemente volúmenes totales semejantes, pero concentrados en un número muy inferior de árboles por hectárea (menos de la mitad) y con un valor comercial de la madera muy superior, además de haber ofrecido ciertos volúmenes de madera delgada para pulpa anteriormente en ocasión de los raleos.

La silvicultura de eucalipto en el país a mayor rotación, para productos más valiosos y bajo un régimen silvícola intensivo, requiere aún de mayor investigación. INFOR está trabajando en esto, en especial con *Eucalyptus nitens* en la Región de Los Lagos (Cabrera, J., 2009 INFOR, pers com.).

En Portugal se mencionan crecimientos de 8 a 12 m^3/ha/año, en rotaciones de 10-12 años, utilizando el manejo del monte bajo, y se señala que con una silvicultura intensiva (fertilización, riego) se pueden obtener hasta 4 rotaciones de 7 a 14 años cada una. En ese país se ha desarrollado un acabado estudio del crecimiento de *Eucalyptus globulus* y, en especial, del manejo y rendimiento del monte bajo de esta especie (Pereira *et al.*, 1989; Tomé *et al.*, 2001).

Para desarrollar, generar y promover productos que puedan ser demandados por los mercados tradicionales, es indispensable conocer el efecto de una serie de factores que están asociados al establecimiento de este tipo de oferta. Entre estos se cuentan un material genético adecuado, un buen manejo de los retoños, la edad de corta y el método de cosecha empleado, adicionalmente y dependiendo del sitio algunas prácticas de fertilización pueden resultar gravitantes también (INFOR, 2002).

Como se ha mencionado, las grandes empresas en general no aplican silvicultura de monte bajo, y pequeños y medianos propietarios y productores a menudo aplican la práctica común en los campos del país, en que antiguas cepas, irregulares y de gran tamaño, dan sucesivas y casi ilimitadas cosechas sin ningún manejo. En consecuencia, la información existente corresponde principalmente a los trabajos de INFOR, que avanzan en la validación de información de ensayos y en la cobertura de diferentes sitios del país con parcelas experimentales.

De diferentes ensayos establecidos por INFOR se destacan y se coinciden en que basta con dejar uno o dos retoños por tocón para obtener la máxima ocupación de sitio y un buen rendimiento volumétrico, esto fundamentalmente por obtenerse diámetros superiores y un menor número de árboles por hectárea lo que influye a su vez en los costos y eficiencia de la cosecha final (Toral, 1988; Prado *et al.*, 1990; Pinilla, 2004).

La capacidad de retoñación de *Eucalyptus globulus*, es normalmente muy buena, lo que se refleja en una gran cantidad de retoños por tocón y en el rápido crecimiento de estos. Existía información proveniente de algunas experiencias de INFOR (2002) y de algunos autores para

INFOR

casos específicos (Ribalta, E.; 1983; Díaz, F.; 1984; Peñaloza, S.; 1985; Toral, M. *et al.*, 1988), por lo que era necesario obtener y validar mayor información sobre esta práctica silvícola, razón que motivó a INFOR a implementar una línea de investigación al respecto y se inició un estudio para desarrollar modelos de crecimiento para monte bajo de *Eucalyptus globulus* en el país. Pinilla, *et al* (2007) entregan información preliminar y en el presente trabajo se presentan resultados con mayor elaboración y antecedentes.

El trabajo presenta los resultados de una segunda etapa de validación y ajuste de modelos de crecimiento y rendimiento, análisis en el que se contó con un mayor cantidad de información para el desarrollo de modelos de mortalidad natural, crecimiento en altura, área basal y volumen.



PARCELA PERMANENTE, SAN JAVIER, REGIÓN DEL MAULE

OBJETIVOS

Desarrollar y validar modelos de crecimiento y rendimiento para *Eucalyptus globulus*, bajo silvicultura de monte entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, con el fin de entregar herramientas de apoyo para el manejo de de estos recursos en el país, en especial a pequeños y medianos propietarios forestales.

DESARROLLO MODELOS

Disponiendo de mayor cantidad de información que en la etapa inicial del proyecto se desarrolló modelos de:

Crecimiento en altura
Mortalidad natural
Crecimiento y rendimiento para área basal
Área basal inicial

Crecimiento de área basal
Predicción para volumen total

La información proviene de 38 parcelas permanentes y temporales de 1/20 de hectárea (500 m^2 20 x 25 m) instaladas en rodales de monte bajo distribuidos entre las Regiones de Valparaíso y Los Lagos, sobre las cuales se ha realizado un total de 185 mediciones dadas por controles periódicos de los parámetros de rodal realizadas en 2 a 4 oportunidades en cada una de ellas (Apéndice N° 1). Estas parcelas están dentro del rango de edad 4 a 13 años, desde la corta del monte alto anterior (Figura N° 1).

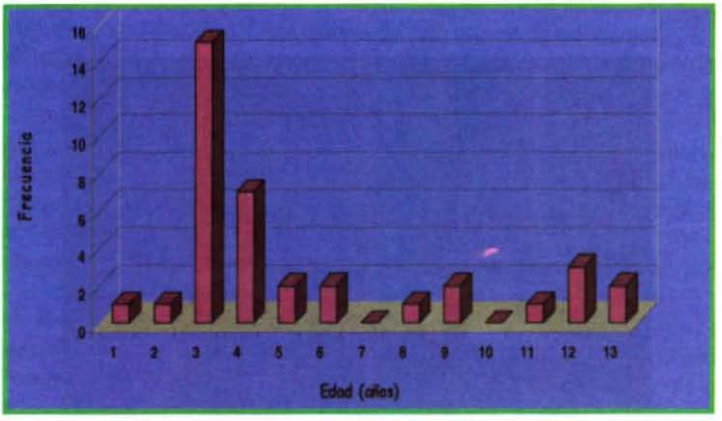


Figura N° 1
FRECUENCIA DE EDAD PARCELAS EXPERIMENTALES

Descripción de Los Rodales

Los parámetros medios del conjunto de parcelas experimentales son indicados en el Cuadro N° 1 y complementariamente se señalan los valore mínimos y máximos., en valores medios, mínimos y máximos.

Cuadro N° 1
PARÁMETROS GENERALES PARCELAS EXPERIMENTALES

Valores	Mediciones (N°)	Altura media (m)	DAP Medio (mm)	VOLUMEN (m^3/ha)	Área Basal (m^2/ha)	Altura Dominante (m)	Densidad (arb/ha)	Edad (años)
Medio	2	10,2	75,9	39,40	8,56	12,3	1.667	4,1
Máximo	4	26,3	215,1	278,01	29,34	30,3	3.660	19,4
Mínimo	1	3,1	23,2	0,00	0,62	3,9	600	0,4

INFOR

La descripción de los rodales se presenta en una serie de gráficos en las figuras siguientes. Las Figuras N° 2, 3 y 4 muestran los parámetros de Área Basal, Altura Dominante y Volumen, según edad, a la izquierda, y hasta 7 años de edad, a la derecha.

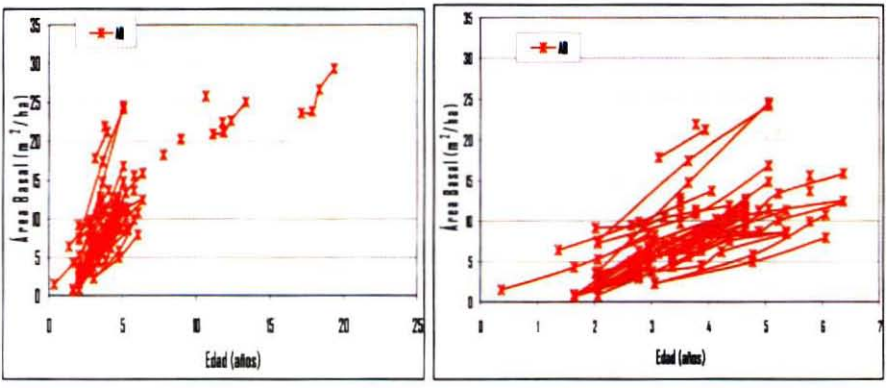


Figura N° 2
ÁREA BASAL SEGÚN EDAD MONTE BAJO

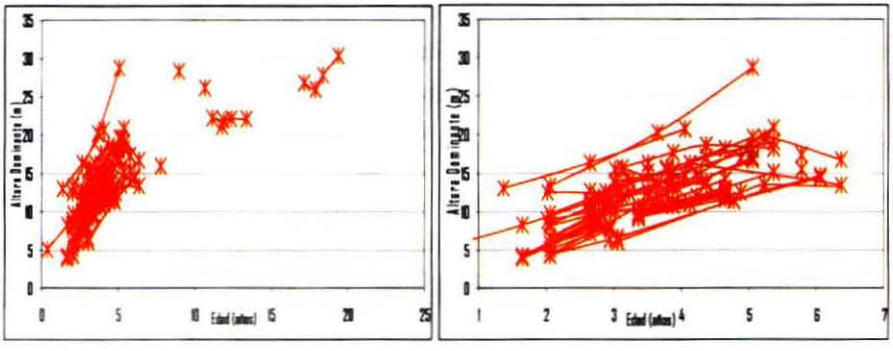


Figura N° 3
ÁLTURA DOMINANTE SEGÚN EDAD MONTE BAJO

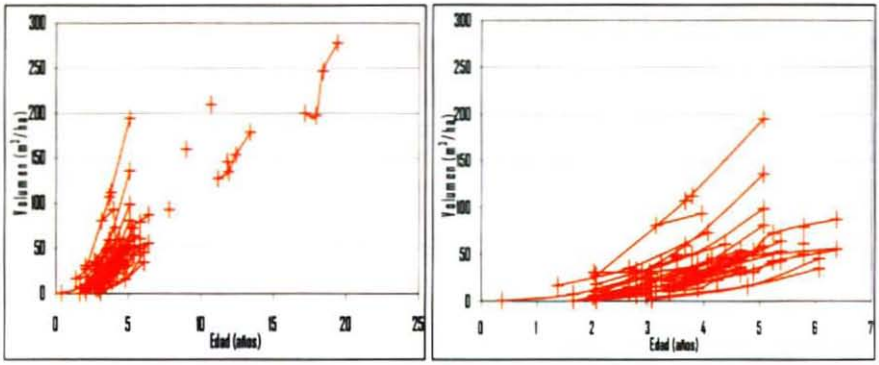


Figura N° 4
VOLUMEN SEGÚN EDAD MONTE BAJO

La Figura N° 5 muestra las curvas Volumen – Área Basal y Altura – DAP para monte bajo del conjunto de parcelas experimentales.

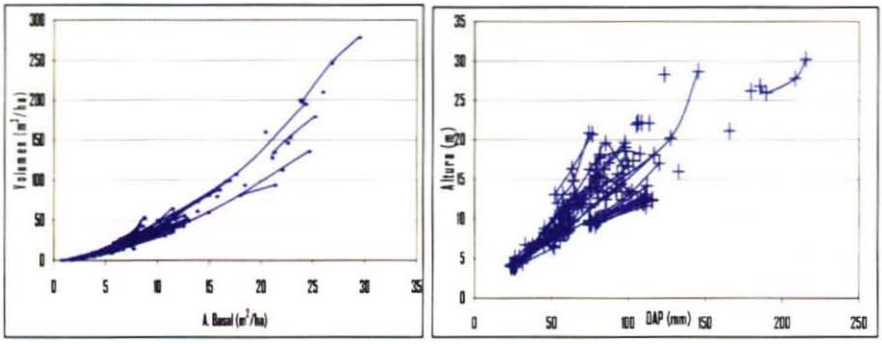


Figura N° 5
CURVAS VOLUMEN – ÁREA BASAL Y ALTURA – DAP PARA MONTE BAJO

En las Figuras N° 6 y 7 se muestra el comportamiento de los parámetros Altura Dominante y Área Basal, según edad para monte bajo, a la izquierda, y hasta 7 años de edad, a la derecha. Para efectos de comparación se incorpora información similar para monte alto, obtenida de otro conjunto de parcelas establecidas y evaluadas por INFOR dentro de esta línea de investigación.

INFOR

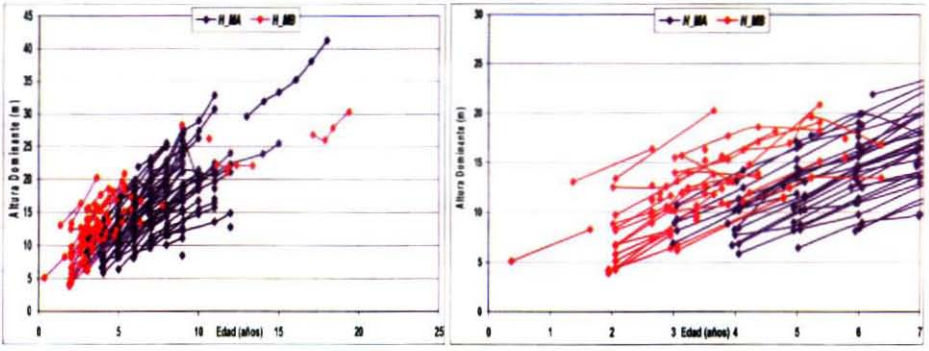


Figura N° 6
ALTURA DOMINANTE SEGÚN EDAD PARA MONTE BAJO (ROJO) Y MONTE ALTO (AZUL)

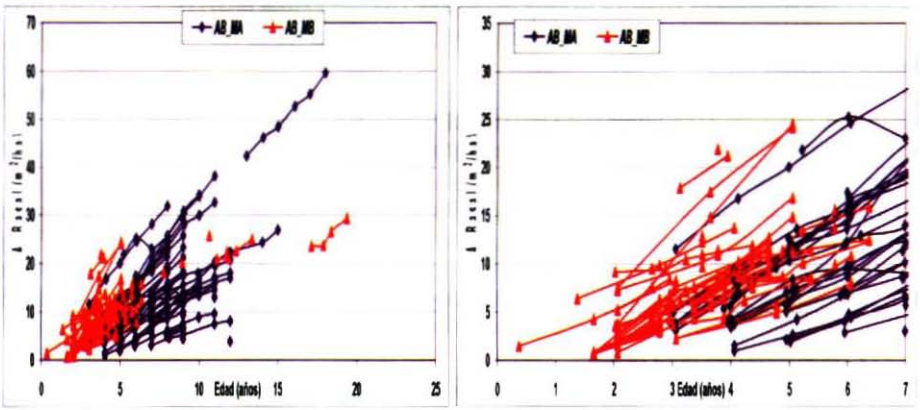


Figura N° 7
ÁREA BASAL SEGÚN EDAD PARA MONTE BAJO (ROJO) Y MONTE ALTO (AZUL)

En la Figura N° 8 se compara el comportamiento de la altura dominante según edad en monte bajo con Curvas de Índice de Sitio para monte alto (10 a 40 m para edad base 10 años), izquierda, y hasta 7 años, derecha.

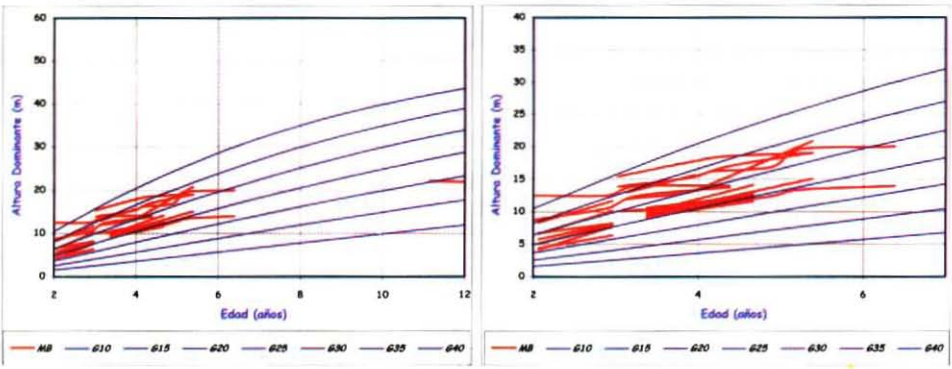


Figura N° 8
ALTURA DOMINANTE SEGÚN EDAD PARA MONTE BAJO (ROJO)
EN COMPARACIÓN CON CURVAS ÍNFICE SITIO (G) PARA MONTE ALTO (AZUL)

Modelos Evaluados

Los modelos y utilizados para realizar el nuevo ajuste son los que componen la planilla experimental de Crecimiento y Rendimiento, Euca3.2, para *Eucalyptus globulus* (Pinilla, 2006) y son los siguientes:

- Altura dominante

$$Hd = b_0 * \{1-(1-[S/ b_0]^{\wedge} b_1)^{\wedge}[E/10]\}^{\wedge}[1/ b_1]$$

- Crecimiento en área basal

$$G_2 = EXP((E_1/ E_2)*LOG(G_1)+ a_0*(1-(E_1/ E_2))+ a_1*S*(1-(E_1/ E_2)))$$

$$G_2 = EXP((E_1/ E_2)*LOG(G_1)+ a_0*(1-(E_1/ E_2))+ a_1*Hd*(1-(E_1/ E_2)))$$

- Mortalidad natural (NAH o Número de árboles por hectárea)

$$N_2 = N_1 (E_2 / E_1)^{\wedge} b_1 \, EXP \, [b_0 (E_2 - E_1)]$$

- Rendimiento para área basal

$$G = EXP[b_1+(b_2/E)]*[N^{\wedge}(b_3+(b_4/E))]*[Hd^{\wedge}(b_5+(b_6/E))]$$

- Rendimiento para volumen

$$V = G [b_0 + b_1 H + b_2 (NH)/G + b_3 (1/Hd)]$$

INFOR

Donde:

Hd = Altura Dominante: Altura (m) de los 100 árboles más gruesos a la edad E.
S = Índice Sitio. Altura (m) de los 100 árboles más gruesos a la edad de 10 años.
E = Edad (años).
G = Área Basal (m^2/ha).
G_2 = Área Basal (m^2/ha) en E_2.
G_1 = Área Basal (m^2/ha) en E_1
E_2 = Edad 2 (años).
E_1 = Edad 1 (años).
N_2 = Número de árboles por hectárea en E_2.
N_1 = Número de árboles por hectárea en E_1.
G = Área basal (m^2/ha).
N = Número de árboles por hectárea (arb/ha).
V = Volumen para un índice de utilización de 5 cm (m^3 ssc /ha).
a_0, a_1, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6 = coeficientes.

Resultados Iniciales

En el primer análisis realizado, testeando los modelos para monte alto de eucalipto en la situación de monte bajo (retoños), la mayor parte de los modelos de crecimiento o rendimiento existente no respondieron de buena forma, al estimar el crecimiento de las parcelas de monte bajo. Sólo el modelo de rendimiento en volumen, presentó un comportamiento aceptable en sus estimaciones. En tanto que el modelo de mortalidad natural, registró un sesgo hacia la sobreestimación de la mortalidad natural. En este análisis los modelos de área basal presentaron los sesgos y errores más altos, seguidos por el de altura dominante (Pinilla, 2006).

En aquel primer análisis se concluyó que posiblemente el crecimiento de los rodales de monte bajo presentan una dinámica diferente de crecimiento en relación a los rodales de monte alto. Dado que los modelos probados fueron desarrollados (sus coeficientes) solo con información de monte alto, estos no serían capaces de estimar correctamente el crecimiento de los retoños.

Durante el análisis también se señaló que un factor a considerar en la interpretación de los resultados obtenidos es la edad de las parcelas permanentes de monte bajo desde donde se obtuvo la información. En general, la estimación del crecimiento en edades bajas (menores a 5 años), como ha sido la situación inicial en este estudio, presenta un mayor grado de incertidumbre debido a lo irregular e inestable que es el crecimiento en ese rango de edad, más aún cuando se presentan elevadas tasas de crecimiento, como es el caso del monte bajo de eucalipto.

Una vez concluido que los modelos de monte alto no eran utilizables en el caso del monte bajo, se procedió a reajustar los modelos con la información obtenida desde los rodales de monte bajo. Este análisis generó en los casos de la altura dominante y mortalidad natural, una mejora

significativa en los estadígrafos. Igualmente, se reajustaron los coeficientes de los modelos de área basal, de crecimiento y rendimiento, y de rendimiento en volumen. En general, las mejoras obtenidas para los modelos para monte bajo reajustados fueron significativas en comparación a la situación inicial. Nuevamente en este análisis la edad de los rodales y la cantidad de datos disponibles para los ajustes, generaron que los errores aleatorios de crecimiento en área basal y rendimiento en área basal fueron de 14 y 20%, respectivamente, siendo deseable que este valor fuera menor al 15%. La mejora fue significativa en los resultados de las estimaciones, en especial en el caso del volumen (Figura N° 9), la altura dominante y la mortalidad natural.

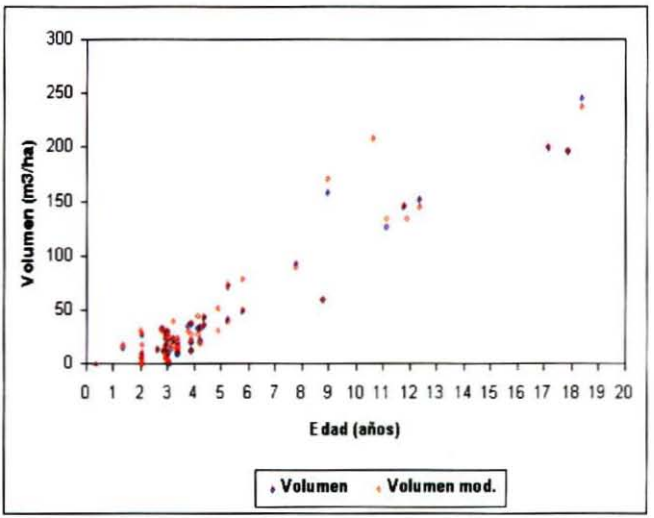


Figura N° 9
ESTIMACIONES PUNTUALES Y SIMULACIÓN PARA RENDIMIENTO EN VOLUMEN MONTE BAJO (ROJO)

Una vez establecido el monte alto, este superaría al monte bajo en crecimiento a partir de entre los 7 a 9 años, lo que se confirma con las asíntotas de monte alto, las cuales son superiores que las de monte bajo. Para el caso del monte alto, se han obtenido asíntotas en altura dominante cercana a los 60 metros, en tanto que el valor obtenido desde rodales de monte bajo alcanza a los 37 metros, lo cual señalaría un mayor potencial de crecimiento en altura del monte alto, mayor al extenderse la edad de los rodales. Lo que se registra desde la información de terreno, es que en los primeros años el monte bajo crece más rápido, pero luego sufre una baja del crecimiento, y essuperado por el monte alto.

El análisis de la información recopilada desde los diferentes rodales indica que el Índice de Sitio promedio estimado para *Eucalyptus globulus* de monte alto esta cercano a los 23 y 24 metros, en tanto que para monte bajo bordea los 21 metros. Estos Sitios son comparables o equivalentes, porque son las situaciones promedio para monte alto y monte bajo, respectivamente. Esta información permitió graficar las curvas de crecimiento en altura

dominante y apreciar que el crecimiento en altura para monte bajo es mayor en un principio, pero luego es alcanzado por el crecimiento de monte alto, que tiene una proyección mayor en altura (Figura N° 10), cosa que ocurre a los 7 a 10 años de edad.

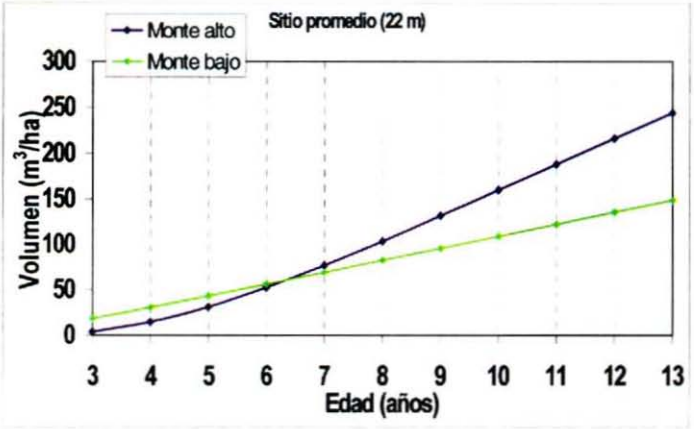


Figura N° 10
COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DEL MONTE ALTO Y MONTE BAJO PARA UN SITIO PROMEDIO

En este mismo análisis es necesario incluir el estudio del punto de quiebre en relación con la rentabilidad asociada a este tipo de manejo en relación con la entregada por el monte alto. En este análisis se debe considerar los costos de establecimiento y manejo, rendimientos volumétricos, rotaciones y precio del producto.

Si bien estas son estimaciones y aproximaciones, la evidencia hasta ahora señala que en promedio el monte alto supera al monte bajo en crecimiento de altura dominante a partir de los 10 años de edad.

Estos resultados deben ser además, analizados desde el punto de vista del análisis económico, la edad biológica de cruce de las curvas de crecimiento es entre 7 y 10 años, pero es necesario verificar la rentabilidad del monte bajo, más allá del punto de intersección de las curvas, debido al menor costo inicial o de establecimiento del monte bajo.

EVALUACIÓN MODELOS

Crecimiento en Altura Dominante

El principal problema encontrado para el modelo de crecimiento en altura dominante, al ser utilizado en estimaciones con la base ampliada con nuevas mediciones, fue un aumento considerable en el sesgo (DIFA%), el que alcanzó un valor de -6,8 %.

Al realizar el nuevo ajuste de coeficientes con la base de datos ampliada se observa una baja en DIFA%, pasando de -6,8 % a -3,18 %, lo que representa una mejora. Sin embargo, si se comparan estos estadísticos con los del primer ajuste, realizado con base de datos original 2005, queda en evidencia que tanto DIFA% como ECM% aumentan sus valores (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DEL PRIMER AJUSTE Y EL NUEVO

Estadísticos	Primer ajuste Base datos original 2005 (76 mediciones)	Nuevo ajuste Base datos ampliada 2008 (161 mediciones)
DIFA% alt. dom.	1,10	-3,18
ECM% alt. dom.	8,32	10,72

El hecho que ambos estadísticos hayan desmejorado sus niveles en el nuevo ajuste, en comparación con el primero, indica que las nuevas mediciones incorporaron aún mayor inestabilidad al total de mediciones existentes, cosa bastante lógica dado que la mayoría de las remediciones están en torno a los 5 años de edad. En este rango de edad el crecimiento es muy errático y aún poco definido. Es altamente posible que haya sido esta gran inestabilidad, aportada por las nuevas mediciones, la que ha influido en el deterioro de los estadísticos para los nuevos ajustes.

En la Figura N° 11 se presentan las curvas del modelo de altura dominante para el primer ajuste y el nuevo ajuste. La figura muestra que no hay diferencias significativas, a nivel gráfico, entre ambas curvas.

INFOR

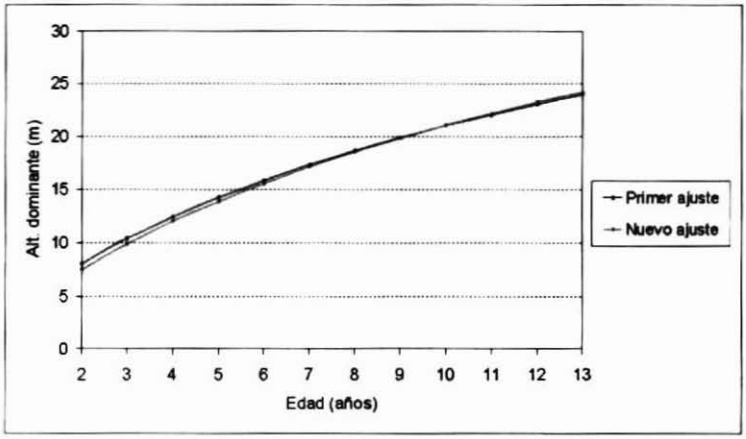


Figura N° 11
COMPARACIÓN ENTRE CURVAS DEL PRIMER AJUSTE Y EL NUEVO AJUSTE (IS = 21)

El modelo y los coeficientes del nuevo ajuste son:

$$Hd = b0*\{1-(1-[\ S / b0\ ]^{b1})^{[\ E / 10\ ]}\}^{[1/ b1]} \qquad (I)$$

Donde:

Hd = Altura Dominante. Altura (m) de los 100 árboles más gruesos a la edad E.

S = Índice de Sitio. Altura (m) de los 100 árboles más gruesos a la edad de 10 años.

E = Edad (años).

Modelo válido para edad en años: $2 \leq$ Edad ≤ 13.

Coeficientes: b0 = 40,3

b1 = 1,367

El coeficiente b0 representa la estimación de la asíntota de crecimiento en altura dominante, es decir 40,3 metros. Cabe señalar que para el primer ajuste esta asíntota fue de 37,7 m.

Crecimiento en Área Basal

Al igual que para el modelo de altura dominante, en el de crecimiento de área basal la incorporación de la base ampliada de mediciones aumentó considerable el sesgo de las proyecciones. La DIFA% alcanzó un valor importante de -13,95%.

Al realizar el nuevo ajuste de coeficientes con la base de datos ampliada hay una baja muy importante en DIFA%, pasando de -13,95 % a -1,89 %, lo que representa una mejora sustancial. Sin embargo, y de la misma forma que se hizo para la altura dominante, si se comparan estos estadísticos con los del primer ajuste, queda en evidencia que tanto DIFA% como ECM% aumentan sus valores (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DEL PRIMER AJUSTE Y EL NUEVO

Estadísticos	Primer ajuste Base de datos original 2005 (76 mediciones)	Nuevo ajuste Base de datos ampliada 2008 (161 mediciones)
DIFA% A. Basal	-0,34	-1,89
ECM% A. Basal	14,34	19,8

Ya comentado en el modelo de altura, en el caso del área basal también está el efecto de la inestabilidad adicionada por las nuevas mediciones. En la Figura N° 12 se presentan las curvas del modelo de crecimiento en área basal para el primer ajuste y el nuevo ajuste. La figura muestra que efectivamente hay diferencias significativas a nivel gráfico entre ambas curvas. Los nuevos coeficientes hacen que la curva de crecimiento en área basal pase por sobre la curva original, es decir, muestra un crecimiento mayor. Esto último tendrá impacto directo sobre la simulación del volumen, como se apreciará más adelante.

INFOR

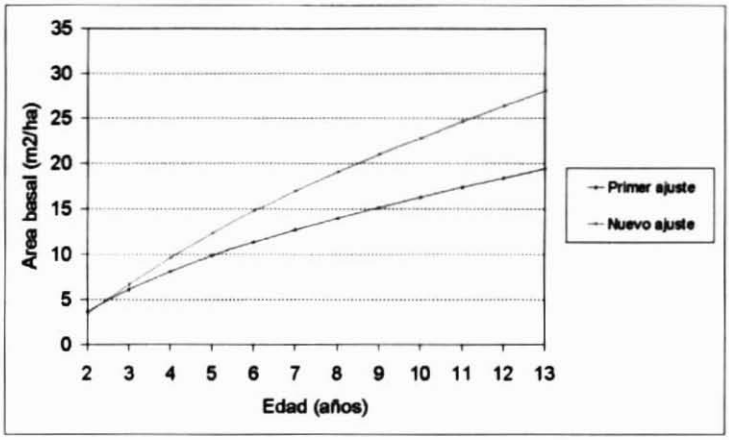


Figura N° 12
COMPARACIÓN ENTRE CURVAS DEL PRIMER AJUSTE Y EL NUEVO (IS = 21)

El modelo y los coeficientes del nuevo ajuste son los siguientes:

G2 = EXP((E1/E2)*LOG(G1)+a0*(1-(E1/E2))+a1*Hd*(1-(E1/E2))) II)

Donde:

G2 = Área basal (m^2/ha) en E2.
G1 = Ärea basal (m^2/ha) en E1.
E2 = Edad 2 (años).
E1 = Edad 1 (años).
Hd = Aaltura Dominante. Altura (m) de los 100 árboles más gruesos a la edad E.
Válido para edad en años: 2 ≤ Edad ≤ 13.

Coeficientes: a0 = 2,805
a1 = 0,055

Rendimiento en Área Basal

Para el caso del modelo de rendimiento en área basal, se repite el mismo escenario que para el modelo de crecimiento en área basal, se obtiene una gran mejora para DIFA%, de -5,841 % a -0,221 %, pero al mismo tiempo se produce un aumento importante en ECM%, de 20,179 % a 28,384 % cuando se comparan los nuevos ajustes con los primeros (Cuadro N° 4). Las causas de esto son las ya comentadas para altura dominante área basal.

Cuadro N° 4
COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DEL PRIMER AJUSTE Y EL NUEVO

Estadísticos	Primer ajuste Base de datos original 2005 (76 mediciones)	Nuevo ajuste Base de datos ampliada 2006 (161 mediciones)
DIFA% A. Basal	-0,141	-0,221
ECM% A. Basal	20,179	28,384

El modelo y los coeficientes del nuevo ajuste se presentan a continuación:

G = EXP[b1+(b2/E)]*[N^(b3+(b4/E))]*[Hd^(b5+(b6/E))] (III)

Donde:

G = Área Basal (m^2/ha).
Hd = Altura Dominante: Altura (m) de los 100 árboles más gruesos.
E = Edad (años).
N = Número de árboles por hectárea.
Modelo válido para edad en años: 2 ≤ Edad ≤ 13.

Coeficientes:
b1 = 2,465
b2 = -22,784
b3 = -0,151
b4 = 2,337
b5 = 0,603
b6 = 1,120

Rendimiento en Volumen

En el caso del modelo de rendimiento en volumen sólo se registró un aumento moderado en el ECM%, por lo tanto el reajuste del modelo era solo opcional. Aún así, se efectuó un nuevo ajuste para los coeficientes con la base de datos ampliada, pero el nuevo ajuste no produjo ninguna mejora significativa en el ECM%, de manera que no se justifica cambiar los actuales coeficientes del modelo.

Al realizar la simulación del crecimiento en volumen para un sitio promedio (IS = 21), como se muestra en la Figura N° 13, se observa que los nuevos coeficientes proyectan un crecimiento mayor para el volumen. Esto se debe casi totalmente a los nuevos coeficientes de la función de crecimiento en área basal (Figura N° 12), que proyectan un crecimiento en área basal mayor que los primeros coeficientes.

INFOR

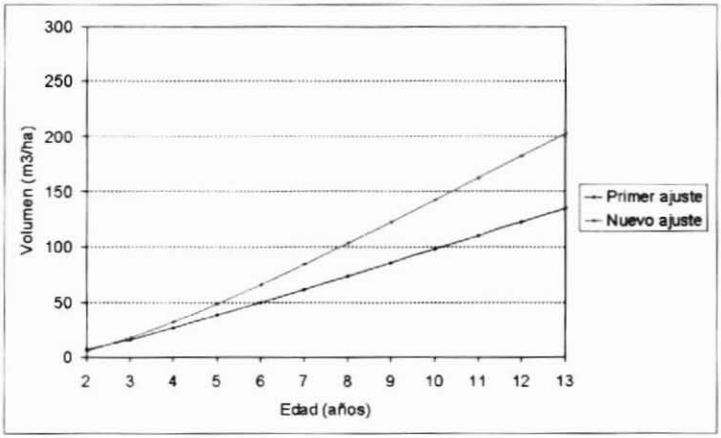


Figura N° 13
COMPARACIÓN ENTRE VOLUMEN SIMULADO CON COEFICIENTES DEL PRIMER AJUSTE Y DEL NUEVO (IS = 21)

El modelo ajustado para monte bajo junto a sus coeficientes se presenta a continuación:

$$V = G [b_0 + b_1 H + b_2 (NH)/G + b_3 (1/Hd) + b_4 (Hd/N)] \quad (IV)$$

Donde:

V = Volumen para un índice de utilización de 5 cm (m^3 ssc /ha).
G = Área Basal (m^2/ha).
Hd = Altura Dominante. Altura (m) de los 100 árboles más gruesos.
N = Densidad (arb/ha).

Coeficientes:
$b_0 = 0,1884$
$b_1 = 0,2946$
$b_2 = -0,0002$
$b_3 = 0,0$
$b_4 = 14,1097$

Las Figuras N° 14 y 15 confirman el adecuado desempeño de este modelo, mientras que en el Cuadro N° 5 se indica la mejora lograda en las estimaciones de rendimiento en volumen con este modelo, donde se aprecia mejoras tanto para la DIFA%, como para el ECM%.

Cuadro N° 5
ESTADÍSTICOS MODELOS DE RENDIMIENTO EN VOLUMEN

Estadísticos	Modelo para Monte Bajo
Número Puntos	156
Promedio Volumen (m^3/ha)	40,351
Promedio Volumen estimado (m^3/ha)	40,431
DIFA% Volumen	0,2
ECM% Volumen	6,4

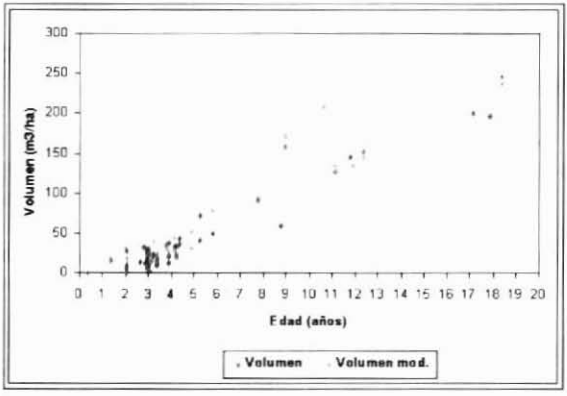


Figura N° 14
ESTIMACIONES PUNTUALES PARA RENDIMIENTO EN VOLUMEN

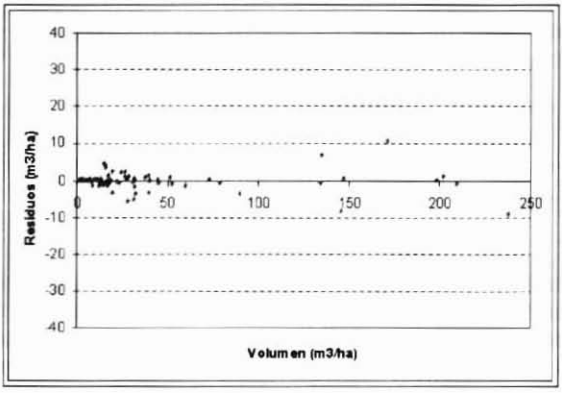


Figura N° 15
RESIDUOS (ESTIMADO – REAL) DE LAS ESTIMACIONES PUNTUALES DE RENDIMIENTO EN VOLUMEN

INFOR

Mortalidad Natural

Al igual que en el caso del modelo de volumen, para NAH o Número de árboles por hectárea, luego del nuevo ajuste no se detectaron variaciones en la eficiencia del modelo de Mortalidad Natural, entregando buenos resultados en esta nueva condición, ajustándose bien a los datos de monte bajo.

El modelo ajustado para monte bajo junto a sus coeficientes se presenta a continuación:

$$N_2 = N_1 (E_2 / E_1)^{\wedge} b_1 EXP [b_0 (E_2 - E_1)] \qquad (V)$$

Donde:

N_2 = Número de árboles por hectárea en E_2.
N_1 = Número de árboles por hectárea en E_1.
E_2 = Edad 2 (años).
E_1 = Edad 1 (años).
Modelo válido para edad en años: $2 \leq$ Edad ≤ 15.
Coeficientes: $b_0 = 0{,}01465$
$b_1 = -0{,}00758$

En Cuadro N° 6 se muestran los estadísticos que justifican el ajuste del modelo.

Cuadro N° 6
ESTADÍSTICOS MODELO MORTALIDAD NATURAL

Estadísticos	Modelo para Monte Bajo
Promedio Densidad real (árboles/ha)	1.853
Promedio Densidad estimado (árboles/ha)	1.857
DIFA% Densidad	0,21
ECM% Densidad	0,68

A continuación (Figura N° 16) se presentan las estimaciones comparadas con series de datos reales, izquierda, y hasta 6 años de edad, derecha.

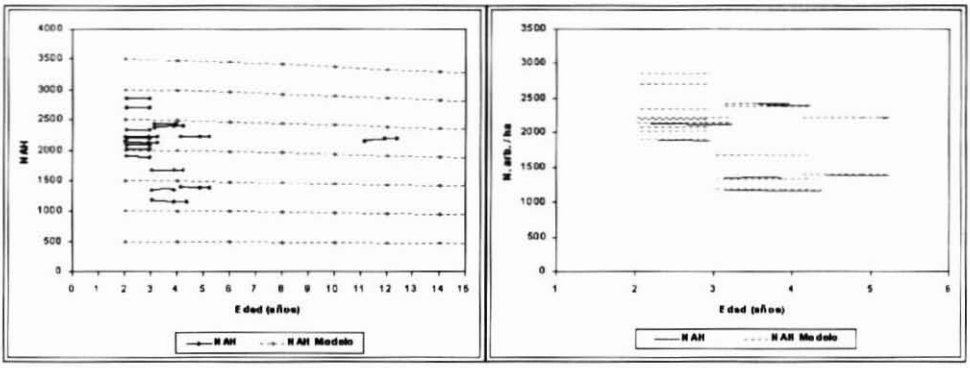


Figura N° 16
SIMULACIÓN CON MODELO PARA DIVERSAS DENSIDADES INICIALES VS SERIES DE DATOS REALES

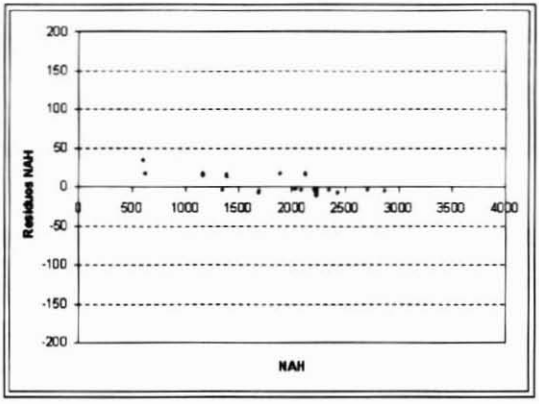


Figura N° 17
RESIDUOS (ESTIMADO-REAL) PARA LAS ESTIMACIONES DE MORTALIDAD NATURAL

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

En términos generales, si bien los nuevos ajustes de coeficientes redujeron el problema de sesgo negativo (problema de subestimación) identificado en el anterior análisis (Pinilla, 2006), por otro lado se produjo un aumento del ECM% para la mayoría de las variables. Este deterioro en ECM% se explica dado que las remediciones provienen de un rango de edad (en torno a los 5 años) que posee un patrón de crecimiento muy errático y poco definido, que es difícil de modelar.

Considerando lo anterior, la utilización de los nuevos coeficientes debería mantener niveles aceptables de sesgo, pero se producirá un aumento del ECM%.

El cambio más significativo se produce para los coeficientes del modelo de crecimiento en área basal, que proyectan valores mayores que los primeros coeficientes. Esto se ve reflejado directamente en la simulación del volumen, donde también se proyecta un crecimiento mayor.

Es necesario remarcar que es muy importante manejar con cautela estos modelos, son experimentales y para una amplia zona del país. No es recomendable además, realizar estimaciones más allá de los 12 o 13 años.

Como se ha mencionado en anteriores análisis, existen grados de incertidumbre que solo podrán ser eliminados cuando se cuente con mayor número de mediciones en edades superiores, en especial cuando se cuente con información abundante en el rango de edad que va de los 6 a 15 años. Los modelos de monte bajo están fuertemente afectados por la edad de la información con que se cuenta.

Una vez reajustados los modelos con la base ampliada de información obtenida desde los rodales de monte bajo, se obtuvo una mejora significativa en los resultados de las estimaciones, en especial en el caso de la altura dominante y mortalidad natural.

Estos modelos son un paso más, su mejora será posible cuando se cuente con mayor número de mediciones y con una mayor densidad de estas para mayores rangos de edad, por lo que sin duda es necesario mantener la periodicidad de mediciones a fin de establecer si los resultados obtenidos hasta ahora se mantienen o varían en el tiempo y es necesario proceder a nuevos análisis y ajustes.

Como conclusiones se puede indicar que:

Los resultados de este trabajo permiten contar con herramientas iniciales de apoyo para el manejo eficiente del monte bajo de *Eucalyptus globulus*, que incluso permitiría la estimación de generación de biomasa con fines dendroenergético, aprovechando cortos ciclos de corta basado en el rápido crecimiento del monte bajo

Como es un trabajo pionero en esta materia en el país, la información sobre la que se ha trabajado aún es limitada, siendo una aproximación que puede ser confirmada y probablemente mejorada cuando se puedan hacer ajustes con mayor cantidad de información.

Los nuevos ajustes de coeficientes al utilizar nueva información redujeron el problema de sesgo negativo (problema de subestimación), pero el nuevo ajuste produjo un aumento del ECM% para la mayoría de las variables, explicado por las remediciones provienen de un rango de edad en torno a los 5 años, que posee un patrón de crecimiento variable, el cual es difícil de modelar.

Las mejoras obtenidas para los modelos para monte bajo reajustados fueron significativas en comparación a la situación inicial.

Es imprescindible mantener la medición de unidades experimentales para aumentar la base de datos de trabajo y análisis, abarcando además otras áreas geográficas.

No es recomendable realizar estimaciones más allá de los 12 o 13 años.

REFERENCIAS

Andrade, H., Benedetti, V., Madaschi, J. y Bernardo, V., 1997. Aumento da produtividade da segunda rotação de eucalipto em função do método de desbrota. Serie Técnica IPEF (11) 30 : 105 – 116.

Ayling, R.D., Martins, P.J., 1981. The growing of Eucalypts on short rotation in Brazil. Forestry Chronicle. 57(1): 9-16.

Camargo, F., Silva, C. y Stape, J., 1997. Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. Serie Técnica IPEF (11) 30: 115 – 122.

Díaz C., F. 1984. Características dendrométricas de *Eucalyptus globulus* (Labill) en la localidad de Colcura, Concepción. Tesis para optar al Grado de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago, Chile. 92p.

González-Río, F., Castellanos, A., Fernández, O., Astorga, R. y Gómez, C., 1997. El cultivo del eucalipto. Manual práctico del selvicultor. http://agrobyte.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/eucalipto/indice.html Celulosas de Asturias S.A. Principado de Asturias. 95p.

INFOR, 2002. Documento proyecto "*Incremento del negocio forestal a través de modelos de manejo y de gestión innovativa para la pyme forestal: la opción del monte bajo de Eucalyptus globulus*". FONDEF-INFOR. Concepción, Chile.

INFOR, 2008. Anuario Forestal 2008. Boletín Estadístico Nº121. Santiago, Chile. 159p.

Peñaloza H., M., 1985. Funciones de volumen cúbico para la especie *Eucalyptus globulus* Labill. de monte bajo, en la Región Metropolitana. CONAF. Programa de Fomento y Desarrollo Forestal Región Metropolitana. CONAF. Boletín Técnico Nº25. Santiago, Chile. 74p.

Pereira, J.S., Linder, S., Araujo, M.C., Pereira, H., Ericsson, T., Borralho, N., Leal, L.C., 1989. Optimization of biomass production in Eucalyptus globulus plantations, a case study. Instituto Superior de Agronomia, Dept. of Forestry, Lisbon, Portugal. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop [Ed: Pereira, J.S.; Landsberg, J.J.]. 1989, 101-121; 31 ref. Series E, Applied Sciences 166. Dordrecht, Netherlands; Kluwer Academic Publishers.

Pinilla, J.C. 2004. Antecedentes generales acerca del manejo de monte bajo de *Eucalyptus globulus*. Proyecto INFOR-FONDEF *Incremento del Negocio Forestal a Través de Modelos de Manejo y de Gestión Innovativa para la Pyme Forestal: La Opción del Monte Bajo de Eucalyptus globulus*. Instituto Forestal, sede Bio Bio. Concepción, 2005. 44p.

INFOR

Pinilla, J.C., 2006. Estudio Inicial de Modelos de Crecimiento Para Monte Bajo de Eucalyptus globulus en Chile. Documento de Trabajo PMB-05, Proyecto FONDEF. 51p.

Pinilla, S., J.C., 2007. *Eucalyptus globulus*, La Opción del Monte Bajo. Síntesis de los resultados del proyecto FONDEF D02I1117: incremento del negocio forestal a través de modelos de manejo y de gestión innovativa para la pyme forestal: la opción del monte bajo de *Eucalyptus globulus*. INFOR. Patrocinado por FONDEF Concepción, Chile, INFOR. 26p.

Prado, D., J.A., Barros, A., S., Wrann H., J., Rojas, V., P., Barros, R., D., Aguirre, A., S., 1986. Especies forestales exóticas de interés económico para Chile [monografías]. Santiago : INFOR. División Silvicultura, CORFO, 168 p.

Prado, D., J.A., Ed., Barros, A., S., Ed., 1989. *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y manejo [monografías]. Santiago : INFOR. División Silvicultura, CORFO, 199p.

Prado, J.A., Bañados, J.C., Bello, A., 1990. The coppicing ability of some species of *Eucalyptus* in Chile. Instituto Forestal, Casilla 3085, Santiago, Chile. Ciencia e Investigación Forestal. 1990, 4: 2, 183-190; 3 ref.

Ribalta S., E., 1983. Evaluación de la producción y productividad del monte bajo de *Eucalyptus globulus* (Lab.), V Región. Tesis para optar al Grado de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago, Chile. 124p.

Tomé, M., Falçao, A., Carvalho, A., Amaro A., 1995. A Global Growth Model for *Eucalypt* Plantations in Portugal. Lensnictvi-Forestry, 41, 1995 (4): 197-205.

Tomé, M., Ribeiro, F. y Soares, P., 2001. O Modelo Globulus 2.1. Grupo de Inventario y Modelación de Recursos Forestales (GIMREF). Relatorios Técnico-cientificos do GIMREF, Nº1/2001. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomía, departamento de Engenharia Florestal. Lisboa, Portugal, 2001. 69p. más anexos.

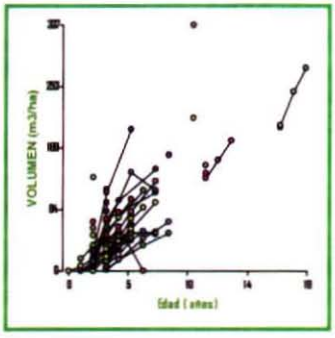
Toral I., M., 1988. El efecto de diversas intensidades de clareo en el crecimiento de monte bajo de *Eucalyptus globulus*. En Actas Simposio manejo silvícola del género *Eucalyptus*. Viña del Mar, Chile. 9-10 Jun.1988. pp. 310-333. INFOR-CORFO.

Toral, M., Rosende, R., Pablo, G., 1988. Evaluación de raleos en monte bajo de *Eucalyptus globulus* (Labill) V Región. Revista Ciencia e Investigación Forestal 2(3): 2-11; 11 ref. Instituto Forestal, Santiago, Chile

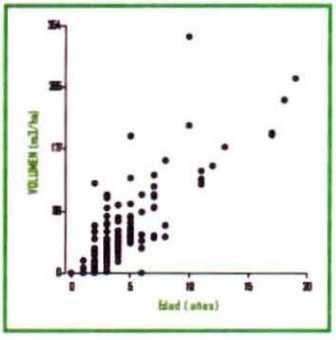
APÉNDICE N° 1

1a. Descripción Rodales de Monte Bajo de *Eucalyptus globulus*

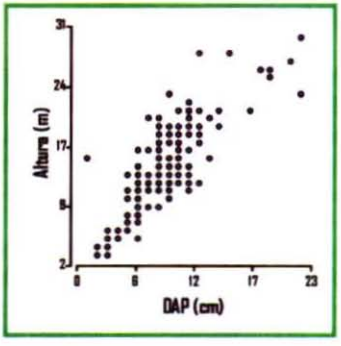
Series de Crecimiento en Volumen Según Edad



Volumen Según Edad



Relación Altura – Diámetro



1b. Detalle Parcelas Experimentales Evaluadas de Monte Bajo de *Eucalyptus globulus*

PARCELA	PROPIETARIO	AÑO	AREA	PREDIO	REGION
1	CONAF V REGIÓN	2000	500	Peñuelas	V
2	CONAF V REGIÓN	2000	500	Peñuelas	V
5	IGNACIO ALLENDE	2001	500	Sta. Marta de Pullalli	V
102	AGROBOSQUES VALDIVIA	2001	500	Pichoy	X
107	JUAN PEDRO ANHUEZA	2001	500	El Retiro	X
716	SOC. FORESTAL CANELILLOS LTDA.	2000	1000	La Montaña	VII
721	SOC. FORESTAL CANELILLOS LTDA.	2000	500	Maromilla	VII
723	FORESTAL CELCO	2001	500	Totorillas	VII
784	RUBEN VILLAGRA	2001	1000	El Membrillo	VII
793	MADERAS PEREZ LTDA.	2001	500	Pangal de Reyes	VII
7106	FORESTAL CELCO	2003	500	El Naranjo	VII
7107	FORESTAL CELCO	2002	500	La Carmiña	VII
10000	Propietario Particular	2003	500	Batral	VIII
10001	Propietario Particular	2003	500	Batral	VIII
20000	Propietario Particular	1998	500	Huacho	VIII
20001	Propietario Particular	2005	500	Huacho	VIII
20002	Propietario Particular	2005	500	Huacho	VIII
5 Testigo	IGNACIO ALLENDE	2001	500	Sta. Marta de Pullalli	V
716 Testigo	SOC. FORESTAL CANELILLOS LTDA.	2000	1000	La Montaña	VII
721 Testigo	SOC. FORESTAL CANELILLOS LTDA.	2000	500	Maromilla	VII
784 Testigo	RUBEN VILLAGRA-Testigo	2001	1000	El Membrillo	VII

1c. Ejemplo Detalle Base de Datos de Parcelas Experimentales Evaluadas de Monte Bajo de *Eucalyptus globulus*

PARC	MED	D_MAXIMO	D_MEDIO	VOLUMEN	AB	H_DOM_100	NAH	NTOCH	EDAD
1	0	143,0	78,5	30,452	7,236	15,46	1340	1080	3,02
1	1	158,0	81,7	37,399	7,869	17,66	1340	1080	3,88
1	2	165,0	97,8	43,901	8,124	18,58	980	780	4,37
1	3	183,0	107,5	53,002	8,584	18,23	840	780	5,37
1	4	190,0	140,4	50,120	7,341	21,71	460	780	7,51
2	0	141,0	75,1	21,835	5,665	13,93	1180	960	3,02
2	1	150,0	80,3	26,845	6,353	15,28	1160	940	3,88
2	2	166,0	87,5	35,951	7,590	17,07	1160	940	4,37
2	3	189,5	97,9	52,149	8,652	19,06	1040	940	5,37
2	4	212,0	122,7	52,824	8,289	21,77	660	920	7,51
3	0	66,0	45,4	5,748	3,582	8,82	2140	2140	2,02
3	1	79,0	55,2	12,570	5,265	10,54	2120	2120	2,88
3	2	93,0	64,3	23,457	7,186	12,43	2120	2120	3,23
3	3	140,0	75,6	38,069	10,086	13,84	2120	2120	4,37
4	0	80,0	52,2	9,968	3,721	10,12	1680	1680	3,02
4	1	92,0	57,3	13,246	4,499	10,76	1680	1680	3,88
4	2	108,0	67,3	22,606	6,210	11,94	1680	1680	4,23
4	3	135,0	78,8	42,412	8,446	15,10	1660	1680	5,37
5	0	181,0	69,8	30,652	9,150	12,49	2220	2220	2,02
5	1	182,0	71,0	31,288	9,449	12,55	2220	2220	2,88
5	2	189,0	74,7	39,438	10,454	13,99	2220	2220	3,23
5	3	191,5	79,7	60,168	11,916	13,53	2220	2220	4,37
5	4	20,2	7,8	0,017	0,165	15,79	3040	1060	6,65
6	0	137,0	85,1	33,100	8,670	11,06	1400	720	4,13
6	1	138,0	85,7	30,836	8,665	12,44	1380	720	4,88
6	2	146,0	92,3	42,475	10,078	13,45	1380	720	5,23
6	3	158,0	102,3	55,263	12,464	13,41	1380	720	6,37
7	0	132,0	74,8	45,142	10,238	16,24	2220	1280	4,13
7	1	142,0	78,5	52,808	11,309	16,91	2220	1280	4,88
7	2	155,0	85,1	72,313	13,407	19,60	2220	1280	5,23
7	3	170,0	96,0	87,114	15,876	16,74	2020	1280	6,37
8	0	115,0	53,8	15,386	6,009	11,97	2380	1340	3,13
8	1	123,0	57,5	21,754	6,871	13,05	2400	1380	3,88
8	2	133,0	64,3	31,971	8,580	14,75	2400	1360	4,23
8	3	153,0	74,2	63,812	11,352	20,85	2360	1320	5,37
9	0	441,0	185,3	200,015	23,616	26,82	640	640	17,13
9	1	448,0	189,4	197,240	23,832	25,98	620	620	17,88
9	2	470,0	208,3	246,355	26,667	27,82	600	600	18,37
9	3	501,0	215,1	278,007	29,338	30,30	620	620	19,37

INFOR

PROGRAMA DE INVENTARIO CONTINUO DE LOS RECURSOS COMPRENDIDOS EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES NATIVOS.

Carlos Bahamóndez y Marjorie Martin, Instituto Forestal, Sede Valdivia, Chile. cbahamon@infor.cl; mmartin@infor.cl

RESUMEN

Los inventarios forestales son una herramienta indispensable para la planificación, no solo productiva sino que también en materia de manejo forestal, protección, infraestructura caminera y otros muchos aspectos relacionados con el quehacer forestal.

Tradicionalmente los inventarios de los recursos forestales respondian a necesidades específicas de proyectos y en áreas geográficas determinadas, reunian información sobre superficie, especie o tipo forestal y existencias volumétricas, y a menudo no eran actualizados o esto se hacía muchos años después.

Hoy se requiere de información actual sobre los recursos forestales, sean éstos plantaciones o bosques nativos, y de más detalle, en especial en los segundos. Los bosques tienen una multiplicidad de funciones que desde hace años han estado adquiriendo cada dia mayor importancia, más allá de la madera para fines industriales, como madera aserrada, pulpa y papel, tableros, chapas y otros, los bosques ofrecen una variedad de otros bienes y servicios, como alimentos, productos medicinales, extractos, aceites esenciales, plantas ornamentales, curtientes, semillas y muchos otros, y diversos servicios ambientales, relacionados con el suelo, el clima, el agua, la flora y la fauna, el paisaje y otros.

Iniciado el Siglo XXI, ya resulta impensable el manejo forestal en términos sustentables sin considerar la multifuncionalidad de los bosques y, muy especialmente, de los bosques nativos. Esta es la razón por la que el Instituto Forestal está desarrollando un Programa Permanente de Inventario Forestal Continuo de los Recursos Forestales, que tiene por objeto mantener actualizado el inventario forestal del pais y con información no solo de superficies y volúmenes sino también de vegetación menor, regeneración natural, sanidad, fauna, suelo, erosión, agua y otros factores del sitio y del entorno, indispensables para el manejo forestal integral y sustentable, considerando las potencialidades y la estabilidad del recurso.

En presente trabajo se muestra brevemente el marco conceptual metodológico de este Programa de Inventario Forestal Continuo.

Palabras clave: Inventario Forestal Continuo, Inventario Ecosistémico.

SUMMARY

Forest inventory is a key tool to forest planning, not only regarding to production but also to forest management, protection, infrastructure and many other subjects related to forestry.

Traditionally, forest resources inventories were carried out to support specific projects or particular information needs on the forest resources of a particular area, results usually were represented as areas and stockings, and further updates were not considered.

Nowadays, updated and more detailed information on forest resources is required, for both planted and native forests and especially for the second. Forests have a great variety of functions which had acquired an increasing importance during the last years. Beyond wood for industrial purposes, as sawn wood, pulp, boards and others, forests provide a number of goods and services, as foods, medicinal products, oils, ornamental plants, seeds, tannins, and many others, and services related to air, water, soil, climate, flora and fauna, landscape, and others.

Beginning the XXI Century, sustainable forest management is unthinkable without taking in due account that variety of functions of forests, mainly the native ones. This is the reason why the Chilean Forest Institute is carrying out, as an special priority, the Forest Continuous Inventory Program whose main objective is to maintain an updated country's forest inventory with the forest areas and stocking data and also with information on minor vegetation, regeneration, soils, water, erosion, fauna, phytosanitary subjects, natural regeneration, and other site and environment factors, representing important inputs for forest management accordingly to the potential and the stability of the resources.

This paper offers a summarized overlook on the conceptual and methodological framework of the Continuous Forest Inventory Program.

Key words: Forest Continuous Inventory, Ecosystemic Inventory.

INTRODUCCIÓN

En el año 1999 el Instituto Forestal propuso al Fondo de Desarrollo e Innovación (FDI) de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) el proyecto Nueva Capacidad para la Configuración de un Sistema Único de Información Forestal, el cual considera el problema de la generación de información para el sector forestal chileno, bajo una perspectiva de eficiencia metodológica y tecnológica, para apoyar a los entes que toman decisiones respecto del sector forestal.

CORFO adjudicó a INFOR la realización de este trabajo y producto de esto se genera un modelo integrado de datos que permite tratar toda la información de superficies y existencias de las formaciones nativas y exóticas del país, el cual es manejado en forma estándar y única por un sistema que evita dobles cifras oficiales o contradicciones y aumenta la eficiencia en la obtención y publicación de resultados. Adicionalmente, se genera un conjunto de pruebas piloto relacionadas al rescate de información desde terreno para las formaciones nativas por la vía de la aplicación del concepto de Inventario Continuo de los recursos, lo cual permite describir las grandes tendencias, dar cuenta de las mejores opciones productivas del recurso según su contexto local y geográfico, y permite establecer políticas de mediano y largo plazo basadas en antecedentes cuantitativos objetivos, estadísticamente sólidos y confiables. La aplicación piloto es efectuada en la Región de La Araucanía.

INFOR

Como resultado es definido el diseño del Inventario Continuo de los recursos comprendidos en los ecosistemas nativos, así como su natural y necesaria conexión e interrelación con el proyecto Catastro Vegetacional de CONAF y CONAMA, el cual da cuenta de la dinámica de las clases de uso del suelo y sus tipos forestales, mientras que el Inventario Continuo aborda las existencias de productos y los factores ambientales allí presentes, complementándose así para constituir una poderosa herramienta de producción de información. Esta iniciativa resulta única en Sudamérica y su nivel de desarrollo técnico se encuentra ampliamente sustentado por el apoyo de países como Finlandia, Estados Unidos y Canadá entre otros.

En el año 2001 se dio inicio, bajo el Programa de Inventario Continuo de INFOR, al proyecto Caracterización Productiva de los Recursos Forestales Nativos de las Regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, también financiado por FDI – CORFO y adjudicado a INFOR en Diciembre del 2001, en el Tercer Concurso Regional de Proyectos del FDI.

Este proyecto en las tres regiones mencionadas comprende la aplicación de metodologías de sensores remotos, modelos digitales de terreno, cartografía del Catastro CONAF-CONAMA e información auxiliar, en un esquema de inventario de múltiples fuentes, utiliza todo tipo de información existente para apoyar sus estimaciones; de múltiples niveles, ejecuta mediciones no solo de árboles de tamaño maderable tradicional, sino toda la gama de tamaños desde la regeneración a adultos; y de multiples recursos , da respuesta a varios tipos de recursos además de los individuos arbóreos, considera suelo, desechos, fauna, y bioindicadores, como líquenes y otros. Es un inventario de carácter continuo, busca obtener una adecuada caracterización productiva de los recursos contenidos en los ecosistemas forestales nativos y permitir su posterior monitoreo en el marco de las demandas de información nacional e internacional.

Los resultados de este proyecto involucran aspectos de diversa índole, temas como existencias, crecimiento, mortalidad, superficies, biodiversidad, uso del suelo, vida silvestre, aspectos sanitarios, bienes y servicios del bosque, tales como paisaje, acumulación de carbono, y posibilidades productivas actuales y futuras, entre otros, son antecedentes que responden a diversos niveles de precisión en materia de generación de resultados e información del proyecto.

Como herramienta para enfrentar esta tarea y otras relacionadas a los ecosistemas forestales, se ha considerado el uso de esquemas muestrales, caracterizados por ser sólidos y con indicadores de calidad estadística, ser lo más amplios posible, dar respuesta al máximo de interrogantes, ser consistentes en el tiempo, proveer información actualizada y oportuna, ofrecer antecedentes importantes para apoyar el proceso de toma de decisiones y ser de bajo costo relativo.

En el contexto descrito el proyecto forma parte de los lineamiento estratégicos de INFOR, en especial en lo referente a la necesidad de establecer un Programa de Inventario Continuo de los Recursos Asociados a los Ecosistemas Forestales Nativos en Chile, que tiene por objetivo el promover la generación de información respecto al estado y condición de los bosques naturales del país por la vía del procesamiento y análisis de los datos recolectados en forma periódica desde puntos permanentes en terreno.

Así, el proyecto Caracterización Productiva de los Recursos Forestales Nativos de las Regiones de La Araucanía, los Ríos y Los Lagos constituyó la primera etapa en la implementación operativa del Programa de Inventario Continuo. El trabajo se inició en las regiones indicadas, cuya importancia relativa, desde el punto de vista de sus posibilidades de desarrollo sectorial, es alta, dada su actual infraestructura vial y portuaria, su densidad poblacional y la superficie de bosques que acumulan. Se trata de 4,5 millones de hectáreas de bosque nativo, que representan más del 30% de las superficie total de este recurso en el país.

El objetivo general es ahora de carácter más operativo que metodológico, a diferencia del proyecto del año 1999, y busca crear la información base sobre las existencias y potencialidades de los recursos forestales asociados a los ecosistemas nativos en las regiones en estudio, información imprescindible para la planificación productiva de los recursos bajo conceptos de equilibrio ecológico, social y económico.

MARCO METODOLÓGICO

Como una forma de simplificar los ecosistemas se ha recurrido a modelarlos de acuerdo a ciertas características que les son más relevantes, éstos representan en forma objetiva los componentes principales de vegetación, suelos, agua y vida silvestre. Para ello se recurre a la definición de un conjunto de más de 60 variables clasificadas en:

Variables del entorno

Variables de parcela

Variables de árboles

Variables del suelo

Variables de regeneración y vegetación

Variables de mortalidad y desechos leñosos

Muestreo de líquenes

Diseño Muestral

El Inventario Continuo considera un diseño bi-etápico en conglomerados distribuidos en forma sistemática en malla triangular. La unidad muestral corresponde a un conglomerado de tres parcelas circulares concéntricas de radio fijo y de área equivalente.

La malla sistemática es irregular en el sentido de los ejes Norte-Sur (7 km) y Este-Oeste (5 km), y cada punto de intersección o vértice del triángulo corresponde a una unidad muestral. En la Figura N° 1 detalle del diseño y de la parcela concéntrica que compone cada conglomerado.

INFOR

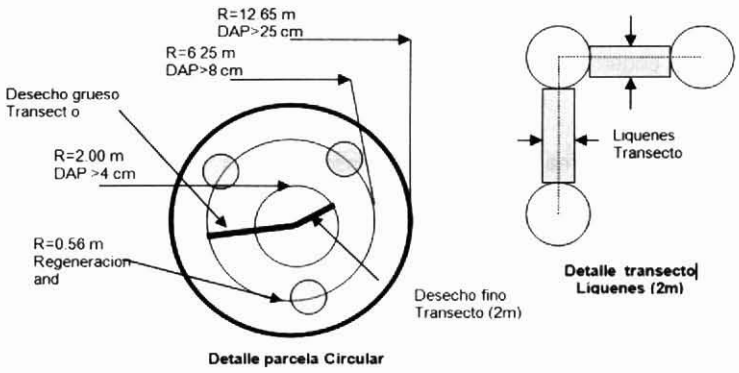


Figura N° 1. Layout del diseño muestral aplicado en terreno

A partir de las unidades muestrales definidas en el diseño muestral y del número definitivo medido en la toma de datos de terreno en la temporada verano de 1999-2000, se procede a calcular algunos estadígrafos que reflejan la calidad de la estimación por la vía de describir la incertidumbre estadística asociada a los estimados. Así, los estimados de las existencias volumétricas (m^3ssc) de la población definida según los párrafos anteriores son:

- Calculo de la Media Total y Existencias Totales

$$\mu = \sum_{mn} V_{ij} / MN$$

Donde:

μ : Media total estimada (m^3ssc / ha)

V_{ij} : Volumen cúbico sólido en pié de la parcela i (i=1,N), de la unidad j={1,M}

- Cálculo del Error Estándar de la Media Total

El error estándar de la media total se estima a partir de la siguiente expresión de errores cuadrados entre unidades primarias, en el supuesto que la población en ambas etapas es infinita de acuerdo a:

$$Var(\mu) = \frac{\sum_{j}^{M} n_j (v_j - \mu)^2}{\left(\sum_{j}^{M} n_j\right)(M-1)}$$

Donde:

v_j: Volumen medio por hectárea de la unidad j (m^3ssc / ha)
μ: Volumen medio total del área de estudio ambas regiones
n_j: Número de parcelas secundarias de la unidad j
M: Número total de unidades primarias muestreadas

- Cálculo del Error Asociado a la Media Total

El cálculo del error de la media total y por ende de las existencias estimadas se calcula como:

$$Error(\mu) = t_s \hat{S}$$

Donde:

Error (μ) : Error de la media total (m^3ssc)

$\hat{S}$: Desviación estándar de la media en (m^3ssc)

De forma similar, las expresiones anteriores se aplican para esquemas más desagregados de estimación, como cálculo de las existencias a nivel regional, provincial, por tipo forestal, por ejemplo, y sus respectivos errores muestrales.

Materiales, Tecnologías y Metodologías Utilizadas

- Materiales Auxiliares de Apoyo

El inventario se basa en los polígonos de uso del suelo definidos por el proyecto Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales de Chile desarrollado por CONAF-CONAMA" (1997). Adicionalmente, hace uso de información satelital, cartografía de curvas de nivel del Instituto Geográfico Militar (IGM) escala 1:50.000, e información resultante de proyectos relevantes desarrollados por INFOR, y otras instituciones afines.

- Tecnologías de Apoyo

El proyecto hace uso de tecnologías de Internet para el apoyo a sus operaciones por la vía de captura de datos en medio electrónico (PDA) en terreno, conexión a Internet y vaciado a Servidor de WEB. Se realiza una lectura directa y poblamiento de Base de Datos disminuyendo el tiempo de procesamiento y evitando errores por manipulación excesiva de los datos.

Otro aspecto de interés corresponde al uso de tecnologías de servidores de mapas para el apoyo a la difusión y transferencia de los resultados, tanto espaciales como tabulares. Esta tecnología permite el acceso interactivo a usuarios en WEB por medio del ARC IMS® de ESRI y manipulación en browser como Internet Explorer® de los mapas regionales y la base de datos asociada.

- Metodologías para Análisis y Generación de Resultados y Mapas Temáticos

Métodos de proyección y planificación de bosques son aplicados sobre el inventario con el objeto de conocer la disponibilidad futura de madera nativa, información altamente relevante al momento de definir planes tácticos de acción sobre determinadas áreas específicas o de interés.

Algunos de los mapas temáticos resultantes son generados por medio de métodos de interpolación estadística, ya sea paramétricos o no paramétricos. Métodos geoestadísticos son utilizados para la generación de mapas temáticos en conjunto con material auxiliar satelital y derivado del modelo de terreno (altitud y pendientes). Otros métodos son también aplicados de acuerdo a la naturaleza o definición del proceso bajo interpolación, así métodos como el k-vecino más cercano o similares se aplican también en algunos casos.

Todos los mapas raster y vectoriales y material similar, se manipulan y administran por medio de un Sistema Geográfico de Información institucional ARCINFO® y PAMPAP®, mientras que el procesamiento de imágenes satelitales y digitales se realiza por medio del paquete EASI PACE® de PCI

RESULTADOS DEL INVENTARIO FORESTAL CONTINUO

Resultados Tabulares

Comprenden todas las tablas de resultados, que describen las existencias totales, por unidad geográfica, administrativa o tipos de bosque o especies. Innumerables tablas de este tipo comprenden una completa descripción del recurso nativo y su actual estado y condición.

Resultados Cartográficos

Los resultados cartográficos resumen y sintetizan los resultados en forma espacial, en mapas temáticos de volumen por hectárea, de Área Basal por hectárea, de número de árboles por hectárea, de productos por hectárea (como volumen pulpable, volumen aserrable, otros), a diversas escalas con referencia geográfica de los resultados del inventario, agregándole una dimensión y contexto a los valores de cuantificación y análisis.

En Figura N° 2 se muestra un ejemplo de resultados cartográficos, a escala 1:250.000, de la cartografía base del IGM (Instituto Geográfico Militar) en la carta Pucón.

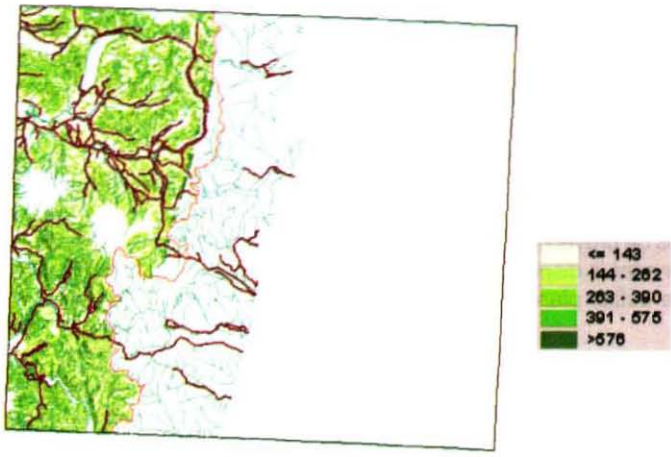


Figura N° 2
CARTA TEMÁTICA DE VOLUMEN BRUTO (m^3/ha) RESOLUCIÓN DE 1 HA

Secuencia de Resultados

El Programa de Inventario Forestal Continuo de INFOR contempla que cada año se realice, o se actualice según corresponda, el inventario de una región o grupo de regiones hasta tener cubierto el país desde las Regiones de Coquimbo a Magallanes, tanto para plantaciones como para bosques nativos. Posteriormente se continúa con las actualizaciones en períodos de 7 a 8 años en bosques nativos y anuales en caso de las plantaciones forestales.

INFOR

ALAMOS Y SAUCES, LAS SALICACEAS EN EL MUNDO Y EN CHILE.

Santiago Barros Asenjo, Ingeniero Forestal. Relaciones Internacionales y Comunicaciones, Instituto Forestal, Chile sbarros@infor.cl

RESUMEN

Los antecedentes disponibles sólo permiten indicar que la superficie global de salicáceas supera largamente los 53 millones de hectáreas en formaciones naturales en el Hemisferio Norte, principalmente Rusia, y que, en materia de plantaciones, los álamos estarían por sobre los 7 millones de hectáreas y respecto de sauces no hay información confiable. Si se compara esta información con las cifras entregadas por FAO sobre las principales especies en las plantaciones, los álamos estarían entre los árboles más plantados del mundo después de pinos, eucaliptos, caucho y acacias.

Las salicáceas están presentes en forma natural en todos los continentes con la excepción de Oceania, aunque son fundamentalmente del Hemisferio Norte. Unas 30 especies de álamos, todas nativas de Norteamérica, Europa, Asia y norte de África, y un número indefinido de 350 a 500 especies de sauces, sólo una con una distribución natural que se extiende hacia el Hemisferio Sur, en Sudamérica. No obstante, álamos y sauces se han extendido por todo el mundo en plantaciones forestales con diversos fines, desde protección y recuperación de suelos hasta producción de celulosa y madera.

Palabras clave: *Populus*, *Salix*, Alamo, Sauce, *Salicaceae*

SUMMARY

According to the available information, global salicaceas area is over than 53 million hectares in the Northern Hemisphere, mainly in Russia, and regarding to forest plantations, Poplars are estimated on over than 7 million hectares and no reliable data on Willows. Compared to FAO figures on main species in planted forests, Poplars are among the most planted species, after Pines, Eucalypts, Rubber Trees and Wattles.

Salicaceae are naturally present in the whole world, excluding Oceania, and belongs basically to the Northern Hemisphere. Some 30 Poplar species, all them native to North America, Europe, Asia and Northern Africa, and a non defined number of 350 to 500 Willow species, only one with a natural distribution reaching the Southern Hemisphere in South America. However, Poplars and Willows are extended through the world as forest plantations with a variety of objectives, from soils protection and recovery to wood and fiber production.

Key words: *Populus*, *Salix*, Aspen, Willow, *Salicaceae*

INTRODUCCIÓN

La cubierta forestal mundial de acuerdo con la información de FAO (2005) es de 3.870 millones de hectáreas, 95 % de esta superficie corresponde a bosques naturales y 5 % a bosques plantados. Dentro de los bosques del mundo las salicáceas representan un recurso forestal de importancia, sin embargo no es posible determinar la superficie que los bosques naturales y las plantaciones de álamos y sauces representan a escala global. Los periódicos informes de FAO, a través de SOFO y FRA (FAO, 2004), no proporcionan información segregada para salicáceas.

Los antecedentes que recopila la Comisión Internacional del Álamo (IPC) (FAO, 2004), también en forma periódica, tampoco dan una visión completa, ya que corresponde a la información entregada por los países miembros de IPC, entre los que no está, por ejemplo, Rusia que se estima podría dar cuenta de tres cuartas partes del recurso total, y además no todos los países miembros de esta Comisión (37) disponen de inventarios actualizados.

La información reportada en el año 2000 por la mayoría de los países miembros de IPC permite estimar una superficie conjunta de alrededor de 30 millones de hectáreas de bosques naturales de salicáceas, recurso que corresponde mayoritariamente a Canadá (17,8 millones de hectáreas), Estados Unidos (8,8 millones de hectáreas) y China (3 millones de hectáreas), y al menos unos 7 millones de hectáreas de plantaciones de álamos, gran parte de estas en China. No es posible segregar información para sauces. La información proporcionada por los principales países es incompleta, en especial en los casos de Estados Unidos y China, que señalan que es información parcial y además no incluyen cifras sobre sauces.

Antecedentes obtenidos de Rusia (Tsarev, 2004) indican 20,5 millones de hectáreas de formaciones naturales de álamos y 3,1 millones de hectáreas de formaciones naturales de sauces, sin información sobre plantaciones y señalando también que se trata de antecedentes incompletos. En consecuencia, la información disponible solo permite indicar que la superficie global de salicáceas supera largamente los 53 millones de hectáreas y que en materia de plantaciones de álamo la cifra estaría por sobre los 7 millones de hectáreas. Si se compara esta información con las cifras entregadas por SOFO (FAO, 2005) sobre las principales especies en las plantaciones, los álamos estarían entre los árboles más plantados del mundo después de pinos, eucaliptos, caucho y acacias.

Respecto de las principales plantaciones comerciales de álamo, China reporta 6 millones de hectáreas, sin información sobre qué proporción de estas corresponde a plantaciones comerciales; Francia informa 250 mil hectáreas; Hungría 160 mil hectáreas; Rumania 114 mil hectáreas; España 113 mil hectáreas; y países como Bélgica, USA, Bulgaria y Croacia superficies de 20 a 40 mil hectáreas. Argentina tiene unas 110 mil hectáreas de plantaciones de salicáceas y Chile unas 7 mil hectáreas de plantaciones comerciales de álamo.

Las salicáceas presentan una amplia distribución natural en climas templados y subtropicales de todos los continentes con la excepción de Oceanía. Se trata de árboles y arbustos de rápido crecimiento y fácil propagación, de una gran plasticidad que les permite prosperar bajo una variada gama de condiciones de clima y suelo. Esta capacidad de adaptación

INFOR

unida a la diversidad de productos y servicios que proveen explica el extensivo uso de estas especies alrededor del mundo, tanto a través del manejo de las formaciones naturales como de la silvicultura de plantaciones de alto rendimiento.

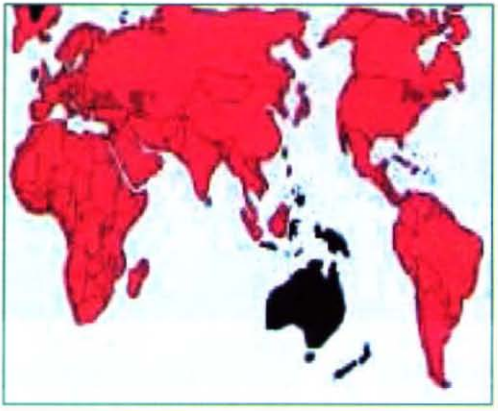


Figura N° 1
DISTRIBUCIÓN NATURAL DE LAS SALICACEAS

La familia *Salicaceae* comprende dos géneros, que son *Populus* (Alamos) y *Salix* (Sauces). La bibliografía menciona también los géneros *Chosenia* y *Toisusu*, con un reducido número de especies, las que actualmente son consideradas dentro del género *Salix*.

GÉNERO Populus ÁLAMOS

Diferentes nombres reciben las especies de este género, o algunas de ellas, en distintos lugares del mundo; álamo, *Poplar*, *Aspen*, *Cottonwood*, chopo, peuplier.

Los álamos ocurren naturalmente en Norteamérica, Europa, Asia y Norte de África, desde los trópicos ecuatoriales hasta los límites latitudinales y altitudinales para el crecimiento de árboles. Son especies caducifolias o raramente semiperennes y constituyen extensos bosques nativos compuestos por numerosas especies variedades e híbridos naturales (Dickmann *et al.*, 2001; Dickmann and Kuzovkina, 2008).



Figura N° 2
PLANTACIÓN COMERCIAL ÁLAMOS REGIÓN DEL MAULE, CHILE

Existen diversas clasificaciones botánicas que indican que existirían desde 30 a más de 80 especies del género *Populus*, diferencia que se explica principalmente por su facilidad de generar híbridos en forma natural, sin embargo la clasificación actualmente más aceptada señala unas 30 especies agrupadas en seis secciones. Unas 12 especies son nativas de Norteamérica y las restantes corresponden a Europa, Asia y Norte de África (Dickmann *et al.*, 2001).

Las Secciones y las principales especies dentro de estas son las siguientes:

- Sección Abaso

Costa Este y Oeste de México. *Populus mexicana*.

- Sección Turanga

Asia y Norte de Africa. *Populus euphratica*.

- Sección Leucoides

Sur - Este Norteamérica y Asia Central.

Populus heterophylla en Norte América

Populus lasiocarpa y Populus glauca, en Asia.

- Sección Aigeiros

INFOR

Norteamérica, Región Mediterránea, Europa Central y Asia Central.

Populus nigra en Europa y Asia

Populus deltoides y *Populus fremontii* en Norteamérica.

- Sección Tacamahaca

Norte de Norteamérica y Asia.

Populus yunnanensis, *Populus suaveolens* y *Populus simonii en Asia*

Populus trichocarpa y *Populus balsamifera*, en Norteamérica.

- Sección Populus (Anteriormente Leuce)

Norte de Europa, Cuenca del Mediterráneo, Asia y Norteamérica.

Populus tremuloides y *Populus grandidentata* en Norteamérica

Populus tremula en Europa y Asia

Populus alba en la Cuenca del Mediterráneo.



Figura N° 3
Populus nigra **"Itálica (izq.)** ***Populus deltoides*** **(der.)**

Se trata de especies arbóreas, raramente arbustivas bajo condiciones de sitio extremas, y en comparación con otras arbóreas son de corta vida, aunque en algunos casos pueden alcanzar 200 – 300 años. Su rápido crecimiento permite que alcancen grandes tamaños; los Cottonwoods comunes de Norteamérica (*P. deltoides y P. trichocarpa*), el Black Poplar de Europa (*P. nigra*) y los Balsam Poplars de Asia (*P. maximowiczii, P. suaveolens, P. szechuanica, P. yunnanensis*), por ejemplo, pueden llegar a ser grandes árboles, de más de 3 m de diámetro y 45 m de altura (Dickmann and Kuzovkina, 2008).

Las especies de mayor importancia son de las Secciones Populus; *Populus alba*, y Aigeiros, *Populus nigra* y *Populus deltoides*. También es de importancia *Populus tremula* de la Sección Populus por su amplia distribución natural, que abarca casi toda Europa, Norte de África y Norte de Asia. Sin embargo, existen numerosos híbridos, variedades, subespecies y cultivares, que en la creación de nuevos recursos a través de plantaciones de álamos tienen mayor importancia que las especies (Barros y Aguirre, 1980).

Su rápido crecimiento, su gran plasticidad, su variedad de usos y su facilidad de propagación han provocado su expansión en forma de plantaciones forestales de alta productividad hacia todo el mundo. En estas plantaciones han tenido un gran desarrollo la silvicultura y el mejoramiento genético, aplicándose hoy intensamente la silvicultura clonal de cultivares de especies, subespecies y variedades, y cultivares de híbridos intra e interespecificos.

Destacan cultivares de *Populus nigra* (*Populus nigra* var Italica), *Populus deltoides* (*Populus deltoides* ssp *angulata* "Carolin" y *Populus deltoides* "I 63/51" "Rolando") y *Populus alba* (*Populus alba* "Roumi"); los llamados híbridos euramericana, anteriormente denominados *Populus x euramericana* y actualmente identificados como *Populus x canadensis*, generados por la hibridación de *Populus deltoides* de Norteamérica y *Populus nigra* de Europa (*Populus deltoides x Populus nigra*) y dando origen a una gran cantidad de cultivares, de los cuales los más conocidos y usados son posiblemente los identificados como *Populus x canadensis* "I – 214" y *Populus x canadensis* "I– 488"; y los híbridos conocidos como interamericana, antes denominados *Populus x interamericana* y hoy identificados como *Populus x generosa*, generados por la hibridación entre *Populus deltoides* y *Populus trichocarpa* de Norteamérica (*Populus deltoides x Populus trichocarpa*).

GÉNERO Salix SAUCES

Diferentes nombres reciben las especies de este género, o algunas de ellas, en distintos lugares del mundo; sauce, sauce llorón, sauce mimbre, Willow, Weeping Willow, Wicker Willow, Salow, salice, saule, osier, salgueiro

Los sauces presentan una distribución natural cosmopolita, con la excepción ya indicada de Oceanía y parte de Australasia donde están presentes solo como especies introducidas.

El género *Salix* está representado por una gran cantidad de especies. También debido principalmente a su facilidad de generar híbridos naturales, diferentes clasificaciones mencionan 350 a más de 500 especies, agrupadas en 4 subgéneros y numerosas secciones.

INFOR

El género ocurre naturalmente en el hemisferio norte en forma mayoritaria y su principal centro de abundancia es China donde existen unas 270 especies, 185 de las cuales son endémicas (Zhanfu *et al.*, 1999. Cit. por Dickmann and Kuzovkina, 2008). En la ex Unión Soviética hay unas 120 especies, en Norteamérica hay 103 especies y 65 en Europa (Argus, 1999). El género tiene también ocurrencia natural en Japón, Africa, Medio Este, India y Centro y Sur América.

Las especies están agrupadas en 4 Subgeneros y 28 Secciones (Argus, 1999). Los Subgeneros y algunas de las principales especies dentro de estos son:

- Subgenero Salix

Salix amygdaloides, Salix nigra y Salix lucida en Norteamérica

Salix humboldtiana en Centro y Sur América

Salix alba, en Europa, Norte de África y Asia

Salix fragilis y Salix pentranda en Europa

Salix babylonica en China.

- Subgenero Longifoliae

Salix exigua, Salix melanopsis y Salix sessilifolia en Norteamérica.

- Subgenero Chamaetia

Salix reticulata, Salix rotundifolia, Salix brachycarpa, Salix ovalifolia y Salix glauca en Norteamérica.

- Subgenero Vetrix

Salix arizonica, Salix monticola, Salix taxifolia, Salix discolor, Salix humilis y Salix mexicana en Norteamérica

Salix caprea y Salix viminalis en Europa y Asia

Salix purpurea en Europa, Asia y Norte de África.

INFOR



Figura n° 4
CULTIVO SAUCES PARA MIMBRE (IZQ.) PARA MADERA Y PULPA (DER.)

La mayoría de las especies del género son arbustivas e incluso rastreras o cubresuelos, pero muchas son de carácter arbóreo y alcanzan 20 a 25 m de altura; *Salix alba* y *Salix excelsa* pueden alcanzar hasta 30 m de altura (Skvortsov 1968, 1999. Cit. por Dickmann and Kuzovkina, 2008).

El subgénero *Salix* corresponde principalmente a especies arbóreas, está bien representado en todos los continentes (excepción ya hecha de Oceanía) y sus especies son comúnmente cultivadas para producción de madera y mimbre. El subgénero *Longigfoliae* corresponde sólo a unas pocas especies en el nuevo mundo, en tanto que el subgénero *Vetrix* reúne a más de dos tercios de las especies del género, arbustos y pequeños árboles, muchas de las cuales son actualmente propagadas para plantaciones comerciales. El subgénero *Chamaetia* por su parte, corresponde a especies de lento crecimiento, incluso rastreras, alpinas y árticas adaptadas a condiciones extremas, que van más allá de los límites de latitud o altitud para el crecimiento de árboles (Kuzovkina *et al.*, 2008).

Las especies de mayor importancia y difusión son probablemente *Salix nigra, Salix alba* y *Salix babilónica* (sauce llorón), del Subgénero *Salix*, y *Salix viminalis*, del Subgénero *Vetrix*.

UTILIZACIÓN DE ÁLAMOS Y SAUCES

Álamos y sauces son usados extensivamente en el combate de la desertificación, la recuperación de áreas degradadas, la captura de carbono, la producción de biomasa para energía y de una variedad de productos de madera en bosques naturales y plantaciones y en aplicaciones integradas de combinaciones agroforestales.

Dentro de la amplia variedad de usos para los álamos, IPC (2009) menciona madera aserrada, chapas, tableros contrachapados, fósforos, pulpa para papel, forraje, lana de madera, embalajes, protección de riberas, leña, cortinas cortavientos, ornamentación y paisaje y otros. Más recientemente se ha incrementado su uso; aplicaciones

INFOR

ambientales, como la recuperación de sitios contaminados (fito remediación) y la protección y recuperación de riberas y suelos inundables; tableros de partículas orientadas (OSB); biomasa para la producción de energía; y sistemas agroforestales.



Figura N° 5
UTILIZACIÓN ÁLAMOS REGION DEL MAULE, CHILE

Los sauces en tanto son usados en estructuras y tejidos de muebles, cestería y diversas artesanías de mimbre, pulpa para papel, implementos deportivos, leña, biomasa para energía, recuperación de sitios contaminados, protección de riberas, ornamentación y paisaje, y productos químicos (medicinales).



Figura N° 6
UTILIZACIÓN SAUCES REGIÓN DE O'HIGGINS, CHILE

En Latinoamérica las principales actividades comerciales basadas en especies de salicáceas son las desarrolladas en Argentina y Chile, en el sur de Brasil y en Uruguay, restringiéndose su uso en este último país a cortinas cortavientos, bosquetes de abrigo y algunas aplicaciones en cultivos integrados con componentes agrícolas. No se conoce mayor utilización en los restantes países de la Región.

SALICÁCEAS EN CHILE

En Chile existe al año 2008 una superficie de 6.395 ha de plantaciones de álamos, desde las Regiones de Valparaíso a Aysén y concentradas principalmente en las Regiones de O'Higgins, Maule y Bio Bio (INFOR, 2008). Otra estimación (Ulloa, 2004) señala una superficie cercana a 15.000 ha, si se incluye pequeñas plantaciones y cortinas cortavientos en todo el país, correspondiendo aproximadamente la mitad de esta superficie a plantaciones comerciales.



Respecto de sauces la información es muy limitada y se estima que la superficie de plantaciones es de 235 ha, ubicadas casi enteramente en la Región de O'Higgins (Censo Nacional Agropecuario 1997, cit. por Abalos, 1998).

Álamos y sauces pueden ser encontrados a lo largo de prácticamente todo el país, los primeros entre las Regiones de Arica y Parinacota y Magallanes, incluso en altitudes de hasta 3.500 msnm en el extremo norte. Los sauces en tanto se distribuyen entre las Regiones de Coquimbo y Aysén. No existen álamos nativos en Chile, sin embargo *Populus nigra* "Italica" fue introducido al país en el año 1810 y su introducción es atribuida al sacerdote franciscano José Guzmán (Bernath, E., 1940. cit. por Serra *et al.*, 2000). Se cree que este cultivar, que hoy forma parte del paisaje rural chileno, sufrió una mutación natural en el país derivando hacia lo que hoy se conoce como *Populus nigra* "Chile", de mayor crecimiento que el cultivar original y de hoja persistente o semipersistente. En lo que se refiere a los sauces, en Chile existe una especie nativa que es *Salix humboldtiana* (también conocido como *Salix chilensis*), de amplia distribución natural en el país, principalmente asociado a riberas y cursos de agua.

Diversas especies de álamos y sauces están presentes en el país, producto de introducciones que en algunos casos son de larga data y tuvieron como objeto principal su uso como especies ornamentales o para bosquetes de abrigo y cortinas cortavientos y en otros, más recientes, han respondido a diferentes programas de investigación que han importado especies y cultivares para probarlos para su uso productivo en plantaciones forestales (Instituto Forestal, Universidad de Chile, Universidad Austral, Universidad de Talca y

Cía. Agrícola y Forestal El Álamo, entre otras entidades).

Las principales especies de sauces existentes en el país son *Salix humboldtiana*, *Salix babilonica*, *Salix alba* y *Salix viminalis*. Su principal utilización, y muy en particular para la última de estas especies, es la cestería y las artesanías de mimbre, las que en los últimos años han evolucionado hacia escalas semiindustriales con muebles de buena calidad elaborados con combinaciones de mimbre y madera de álamo.

La principal zona de cultivo y trabajo es la Región de O'Higgins, donde se produce *Salix viminalis* sobre suelos agrícolas regados, mediante plantación de estacas a densidades de 50 x 50 a 60 x 80 cm, con cosechas anuales de varas, en las que a partir del tercer año el rendimiento alcanza a 12 a 24 t/ha/año de materia seca. También está cobrando una creciente importancia la aplicación de sauces al control de riberas y recuperación de suelos inundables. Recientemente el Instituto Forestal ha desarrollado investigaciones dentro de las cuales se ha desarrollado ensayos de carácter silvícola con las especies presentes en el país, sumándose a las antes mencionadas *Salix purpurea*, *Salix caprea*, *Salix alba* "Vitellina" y *Salix x rubens*. Estas investigaciones han permitido también identificar algunas otras especies existentes en el país como *Salix cinerea* y *Salix fragilis* (Abalos, 1988; Abalos 2002).

En materia de álamos, los cultivares existentes en el país son Populus alba "Roumi", Populus x canescens (Populus alba x Populus tremula), Populus nigra "Italica", Populus nigra "Chile", Populus simonii, Populus deltoides ssp angulata "Carolin", Populus deltoides "I-63/51 Rolando", Populus deltoides "cat 64/51" y diversos híbridos euramericana, como Populus x canadensis "I-214", Populus x canadensis "I-455", Populus x canadensis "Negrito de Granada", Populus x canadensis "Chopa Blanca de España", Populus x canadensis "I-488", Populus x canadensis "I-209", y Populus x canadensis "I-154 Mussolinni" (Barros y Aguirre, 1980; Ulloa, 2004).

Los más utilizados con fines comerciales son Populus x canadensis "I-214", Populus deltoides "I-63/51 Rolando", *Populus x canadensis* "I-488" y Populus deltoides "cat 64/51" en la producción de madera aserrada para la construcción, embalajes y otros fines, y chapas para tableros, embalajes, fósforos, palos y paletas para helados, palos para arroz, y otros productos. Aún se emplea también Populus nigra "Chile" para diversos productos.

De acuerdo a los fines productivos y el tamaño de los productores, el manejo silvícola puede ser mínimo o intensivo, en este último caso con fuerte preparación de suelos, control de competencia, fertilizaciones, espaciamientos amplios (6 x 4 a 6 x 6 m), raleos, podas (con levante hasta 7 a 8 m) y empleando técnicas avanzadas de producción de material de plantación (varetas) y clones bajo permanente selección y mejoramiento genético. El cultivo es efectuado normalmente en suelos agrícolas y bajo riego. El crecimiento es variable, pero está en torno a los 25 a 30 m^3/ha/año para rotaciones de 10 a 14 años, en plantaciones manejadas en la Región del Maule, y se estiman crecimientos por sobre los 30 a 35 m^3/ha/año, para plantaciones manejadas en sectores de la Región de O´Higgins para rotaciones similares.

REFERENCIAS

Abalos, Marta, 1998. Ed. Chile Mimbre. De la Producción al Consumo. Instituto Forestal. Chile.

Abalos, Marta, 2002. Ed. Sauce Mimbre, Silvicultura y Producción. Instituto Forestal. Chile.

Argus, George, 1999. Clasification of *Salix* in the New World. Botanical Electronic News. BEN # 227 http://www.ou.edu/cas/botany-micro/ben/ben227.html

Barros, Santiago y Aguirre Juan José, 1980. Crecimiento de Algunas Especies y Cultivares de Álamo, Regiones IV a IX Chile. Informe Técnico N° 87. Instituto Forestal. Chile.

Dickmann, D., Isebrands, J., Eckenwalder, J. and Richardson, J., 2001. Poplar Culture in North America. National Research Council of Canada.

Dickmann, Donald, I. and Julia Kuzovkina, 2008. Poplars and Willows in the World, Chapter 2: Poplars and Willows of the World, with Emphasis on Silviculturally Important Species. Forestry Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Poplar Commission Thematic Papers. Forest Resources Development Service, Forest Management Division, Forestry Department. Working Paper IPC/9-2. FAO, Rome, Italy

FAO, 2005. State of the World's Forests http://www.fao.org/forestry

FAO, 2004. Forest Resources Assessment http://www.fao.org/forestry

FAO, 2004. International Poplar Commission http://www.fao.org/forestry//ipc

INFOR, 2008. Anuario Forestal 2008, Boletín Estadistico N° 121, Instituto Forestal, Chile.

IPC, 2009. International Poplar Comission http://www.fao.org/forestry/ipc/en/

Kuzovkina, Yulia A., Martin Weih, Marta Abalos Romero, John Charles, Sarah Hust, Ian McIvor, Angelas Karp, Sviatlana Trybush, Michel Labrecque, Traian I. Teodorescu, Naresh B. Singh, Lawrence B. Smart, and Timothy A. Volk, 2008. Salix: Botany and Global Horticulture. In: Horticultural Reviews, Volume 34, Jules Janick (Ed.) 538 pages

Serra, M.T., Torres, J. y Grez, J., 2000. Breve Historia de la Introducción en Chile del Álamo, *Populus nigra* L. var. Italica y el Desarrollo de Ejemplares Siempreverdes. Cholris Chilensis, Año 5 N° 2 http://www.chlorischile.cl.

Tsarev, Anatoli, 2004. Petrozavodsk State University, Rusia. (Comunicación personal)

Ulloa, Jaime, 2004. Gerente Forestal Sociedad Agrícola y Forestal El Álamo. (Comunicación Personal).

INFOR

PRODUCTOS CON OPORTUNIDADES DE DESARROLLO EN CHILE: MUCÍLAGO DE ALGARROBO CHILENO (*Prosopis chilensis*)

Daniel Soto y Janina Gysling. Ingenieros Forestales. Instituto Forestal, Chile. dsoto@infor.cl; jgysling@infor.cl. Sede Metropolitana, Área de Economía y Mercado.

RESUMEN

El Sector Forestal chileno muestra un importante desarrollo basado en las plantaciones forestales y una fuerte industria derivada de estas, pero la producción, que hoy reporta más de 5 mil millones de dólares anuales por retorno de exportaciones, está en una muy alta proporción cimentada en *commodities*, como pulpa y madera aserrada, entre otros, que involucran una limitada agregación de valor y resultan muy sensibles a los vaivenes económicos internacionales.

El Instituto Forestal, en la búsqueda de alternativas de innovación y diversificación productiva en el ámbito forestal, está realizando permanentemente estudios sobre productos con oportunidades de desarrollo en el país y con este objeto analiza diversos productos madereros y no madereros, sus posibilidades de desarrollo, sus mercados locales y externos, los volúmenes que se transan en el mundo y sus precios.

Recientemente se realizó un estudio sobre carbón vegetal, mucílagos de algarrobo (*Prosopis chilensis*) y pisos de madera, en el presente trabajo se presenta los resultados obtenidos para mucílagos de algarrobo chileno.

Palabras clave: Mucílagos, *Prosopis chilensis*, mercado.

SUMMARY

The Chilean Forestry Sector has an important development based on the planted forests and the strong associated industry, however the production, which currently reports over than 5 thousand million dollars in exports, is composed in a very high proportion by commodities, as pulp, sawn wood and other products, which involves a limited added value and are highly sensitive to changes in the world markets.

The Forest Institute, in searching innovative alternatives and productive diversification in the forest area, is carrying out studies on development opportunities with different products, analyzing wood and non wood forest products, its development possibilities, the domestic and international markets, the volumes sold in the world and the prices.

Recently it was made a study on charcoal, Prosopis mucilage (*Prosopis chilensis*) and wood floors, results on the second, *Prosopis* mucilage, are presented in this paper.

Key words: Mucilage, *Prosopis chilensis*, market.

INTRODUCCIÓN

El suministro de proteína vegetal para satisfacer la cadena alimenticia es de vital importancia para los humanos y animales. Actualmente las principales fuentes de proteína vegetal son la soja, glúten o seitán, legumbres, frutos secos, algas marinas y levadura de cerveza y el mayor suministro se obtiene de cereales (trigo, maiz, arroz), con los cuales se preparan las dietas de animales y peces de cultivo y se alimenta gran parte de la población humana. La OMS recomienda en la dieta de las personas una proporción de 25% de proteína animal y un 75% de proteína vegetal.

Los aditivos alimentarios juegan un papel de gran importancia en los productos alimenticios en los que se añaden (conservación, textura, aspecto, entre otros) aportando ventajas tanto para la industria como para el consumidor. Se entiende por aditivo alimentario cualquier sustancia que, sin constituir por sí misma un alimento, pueda ser añadida intencionadamente a los productos alimenticios en una cantidad mínima regulada por reglamento con el fin de modificar sus características, las técnicas de elaboración y conservación o para mejorar la adaptación al uso al que son destinados.

La permanencia del aditivo en el alimento o bebida lo diferencia de un coadyuvante tecnológico; su empleo, independientemente de que tenga o no valor nutritivo, lo diferencia de un enriquecedor (vitaminas, minerales, etc.) y su incorporación intencionada al alimento, lo diferencia de un contaminante (pesticidas, etc.).

El empleo de los aditivos alimentarios es, en la actualidad, un hecho indiscutible; gracias a ellos se dispone de alimentos de mayor vida útil, más estables, con una mejor presentación, más variados, etc. A pesar de ello, es motivo de recelos y desconfianza en el consumidor. Muchos asocian el consumo de aditivos con posibles problemas de salud o creen que su uso permite a los fabricantes de alimentos por ejemplo, enmascarar una baja calidad de producto, no estando conscientes de sus eventuales beneficios.

El desarrollo de la química y microbiología de los alimentos, unido a los avances tecnológicos, ha permitido la optimización de los procesos de obtención de aditivos y la aparición de nuevos aditivos con mejores propiedades funcionales y a un menor costo.

Las gomas y mucílagos tienen la capacidad de retener agua y formar suspensiones coloidales y son utilizados en la formulación de muchos alimentos, principalmente por su capacidad texturizante, de viscosidad o espesamiento. También llamados hidrocoloides, en Chile existen exportaciones importantes de estos productos, principalmente elaborados a partir de algas marinas, como la carragenina y el alginato; cabe destacar que Chile es uno de los mayores proveedores mundiales de carragenina. Los hidrocoloides tienen propiedades comunes y en general sus funciones son bastante similares, sin embargo, los efectos que provocan en determinados alimentos son diferentes dependiendo de su tipo, por consiguiente, muchos de ellos deben ser importados, como la goma de algarroba.

El algarrobo chileno, *Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz, es una interesante alternativa que suministra proteína vegetal y que posee el potencial para insertarse en el sector alimentario

INFOR

humano y animal. Las iniciativas por industrializar esta especie van desde procesos artesanales, hasta aquellos con procedimientos experimentales para extraer de ellos sustancias útiles, pasando necesariamente por la silvicultura y manejo de masas artificiales y naturales del recurso.

El género *Prosopis* ha sido investigado, entre otros, en Chile, México y Perú, como materia prima para la obtención de hidrocoloide, el cual se conoce comúnmente como goma mezquite. De acuerdo con la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile, quienes desarrollaron un proyecto para extraer mucílago de *Prosopis chilensis*, señalaron que esta especie tiene un interesante potencial como productor de goma, pero es necesario profundizar en nuevas investigaciones. Estudios avanzados en México con otras especies de *Prosopis*, señalan además la necesidad de mejorar técnicas de viverización y manejo silvícola de estas especies de zonas áridas, de manera de asegurar un abastecimiento industrial de acuerdo a los requerimientos del mercado.

La tendencia actual en la industria mundial de alimentos va en la dirección de los productos nutracéuticos o "superalimentos", es decir, aquellos alimentos funcionales y con características nutritivas específicas, que son sanos, saludables y ricos. En esta línea destacan los extractos antioxidantes, gomas, espesantes y gelificantes, miel y cera de abejas, y proteínas vegetales hidrolizadas, entre otros. En este sentido, *Prosopis chilensis* puede ocupar un rol claramente protagónico.

ANTECEDENTES GENERALES DE GOMAS Y MUCÍLAGOS

También conocidos como coloides hidrofílicos o hidrocoloides, los mucílagos y gomas forman parte del grupo de los carbohidratos, específicamente de los polisacáridos. Todos los mucílagos y gomas son moléculas complejas compuestas de varios monosacáridos, unos y otros son bastante semejantes en su composición química y sólo se diferencian por la forma en que se generan en la planta. Los mucílagos son constituyentes normales de las células, en tanto las gomas se forman por la destrucción de las paredes celulares. Estos carbohidratos son sintetizados por la planta con fines energéticos, como elementos para otorgar elasticidad para el crecimiento, la reproducción y como material de reserva.

Los hidrocoloides son macromoléculas polisacáridos que tienen gran capacidad de retener agua y formar suspensiones coloidales, se usan en la formulación de muchos alimentos principalmente por su capacidad texturizante, de viscosidad o espesamiento. Poseen la ventaja de no impartir aroma ni sabor a los productos en que se añaden, pero inciden en su aceptabilidad ya que mejoran su textura y/o consistencia; su complejidad les impide ser metabolizadas por seres humanos, por lo cual no aportan calorías a la dieta. Los mucílagos y gomas poseen un amplio espectro de acción, como anti-inflamatorias, emolientes (ablandan) y cicatrizantes, actúan como protectoras de las mucosas, son también anti diarreicas (en bajas dosis), laxantes (en altas dosis) y antibióticas.

Estas sustancias son producidas en los frutos, semillas y exudados de los troncos. Con excepción de la gelatina, todos los hidrocoloides son del tipo polisacárido al cual pertenecen los galactomananos (de estructuras poliméricas con unidades de galactosa y manosa), y entre

ellos están la goma de algarrobo, goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) y de otras especies leguminosas.

Dentro de los diversos materiales que se emplean en elaboración de alimentos, para humanos y animales, los hidrocoloides representan una parte muy importante de los comúnmente llamados aditivos para alimentos. Un mucílago suficientemente purificado es susceptible de ser introducido en alimentos como espesante, estabilizador de suspensiones y espumas (aditivos naturales). Constituyen un grupo de substancias de tipo polimérico con elevado peso molecular, hidrófilos y que, en medio acuoso, se hinchan considerablemente. Cuando se disuelven o dispersan en agua, dan soluciones de alta viscosidad o, según el tipo utilizado, un gel elástico y estable; por eso se usan fundamentalmente como agentes espesantes y de formación de geles.

Existen diversos tipos de hidrocoloides, de los más variados orígenes. Los de uso comercial más importantes se presentan en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
PRINCIPALES HIDROCOLOIDES DE USO COMERCIAL

Agar	Arabinoxilan	Curdlan	Carragenina	Tragacanto
Alginato	Beta Glucan	Gelatina	LBG	Xantano
Almidón	Carboximetilcelulosa	Goma Arábiga	Guar	Pectina

Algunas de las principales gomas son las siguientes:

Alginato

El alginato es producido a partir de algas marinas cafés. Existen cerca de 1800 especies de algas cafés, la mayor parte de ellas son marinas y generalmente viven en aguas frías. Unas pocas especies son de uso comercial. En Chile es especialmente importante Macrocystis pyrifera (Figura N° 1), en tanto que en otros países destacan Ascophyllum nodosum y Laminaria hyperborea.

INFOR



(Fuente: www.alcaebase.org)

Figura N° 1
Macrocystis pyrifera COSECHADA EN CHILE

La pared celular de estas algas está compuesta principalmente de celulosa y ácido algínico, que es la materia prima para la elaboración de alginato. El alginato es muy utilizado en dentríficos, helados de crema, carne en conserva, productos lácteos y en la industria de imprenta, entre otros. Dependiendo de la aplicación actúan como estabilizante, espesante o agente gelificador.

Carragenina

Ingrediente textural con propiedades gelificantes de extremada efectividad, originada de algunas especies de algas rojas. Es utilizada en diversas aplicaciones en la industria alimentaria como espesante, gelificante, agente de suspensión y estabilizante, tanto en sistemas acuosos como en productos lácteos.



(Fuente: www.alcaebase.org)

Figura N° 2
***Chondracanthus chamisoi* COSECHADA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE**

En el agua, se presenta típicamente como un hidrocoloide con propiedades espesantes y gelificantes; en la leche, tiene la propiedad de reaccionar con las proteínas y proveer

funciones estabilizantes. Se obtiene de diversos géneros y especies de algas marinas de la clase Rodophyta. El contenido de carragenina en las algas varía de 30% a 60% del peso seco, dependiendo de la especie. Habitualmente, las algas son recolectadas en forma manual por pescadores en zonas inter mareas o por sumersión con ayuda de equipamiento. Después de la recolección, las algas son colocadas al sol para secarlas hasta que lleguen a un nivel de humedad ideal para su procesamiento. La carragenina es uno de los principales hidrocoloides que se produce en Chile.

Goma Guar

La goma Guar se deriva del endospermo molido de la "planta de guar", Cyamopsis tretragonolobus, de la familia de las leguminosas. La planta de guar es anual, de entre 90 a 180 cm de altura y se cultiva comercialmente en India, Pakistán y Estados Unidos. Se utiliza especialmente como espesante de soluciones acuosas y para controlar la movilidad de materiales dispersados o disueltos. Son conocidas sus excelentes propiedades de sinergia con la goma Xantano.



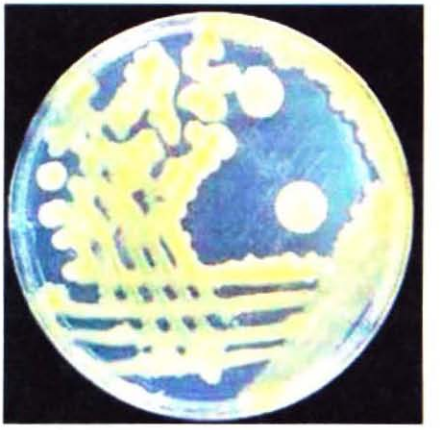
(Fuente: www.tropicalfruitlandveg.co.uk

Figura N° 3
PLANTA DE GUAR *Cyamopsis tretragonolobus*

Goma Xantano

La goma Xantano es un heteropolisacárido exocelular producido por el microorganismo *Xantomonas campestris* (un patógeno de las coles) mediante un proceso de fermentación.

INFOR



(Fuente: http milksci unizar es)

Figura N° 4
PLACA DE AGAR CON CULTIVO DE Kanthomonas campestris

El micro organismo se cultiva a escala industrial por fermentación aeróbica en un medio formado básicamente por jarabe de glucosa obtenido a partir de la hidrólisis del almidón de maíz. Es soluble tanto en agua fría como en agua caliente, su viscosidad depende poco de la temperatura o del pH, y de la presencia de sales. La goma xantano imparte una viscosidad elevada (en reposo) con pequeñas concentraciones y presenta además un comportamiento pseudo plástico muy marcado. Esta característica la hace ideal para estabilizar y dar viscosidad a productos que deben tener un comportamiento semejante a un gel en reposo (cuando están sobre el alimento) pero fluyen casi libremente cuando se agita el envase para sacarlo de él (Ejemplo: ketchup).

Goma Garrofín (LBG)

Esta goma es un hidrocoloide utilizado ampliamente en la industria alimenticia y es también conocida comercialmente por su denominación en inglés *Locust Bean Gum* (LBG). El LBG se deriva del procesamiento de la semilla de *Ceratonia siliqua*, una leguminosa arbórea que crece en zonas mediterráneas, conocida comúnmente como garrofero, garrofo, algarroba, *Locust Bean* o *Carob Tree*.

El garrofero es un árbol perennifolio de hasta 10 m de altura, con corteza lisa color gris y hojas lustrosas color verde oscuro. Los frutos son pardos, generalmente derechos y de 10-20 cm de largo. Las semillas se encuentran empotradas en las vainas espesas y carnosas, ricas en azúcar, normalmente todas del mismo tamaño.

El LBG es un hidrocoloide perteneciente al grupo de los galactomananos. Entre sus propiedades destacan su acción como espesante en líquidos fríos, de la misma forma como la goma xantano; forma geles estables al incorporarse a líquidos en ebullición, trabaja bien en una amplia variedad de pH y con diversas sales. Durante el congelamiento de ciertos productos,

LBG retarda la formación de cristales de hielo y otorga excelente textura. La aplicación principal es en preparaciones alimenticias, como salsas, postres, helados y carnes preparadas; en productos lácteos es especialmente utilizado para prevenir la separación de las grasas, sólidos y agua. Actualmente es muy empleado en comida para mascotas. En la industria del papel fue importante hace algunos años, para mejorar las propiedades físicas, pero hoy su uso está en retroceso.

Goma Mezquite

Se presenta esta goma por su parentesco con *Prosopis chilensis* y por el interés de investigaciones recientes. Sin embargo, no tiene actualmente un uso comercial debido a que está fundamentalmente en etapa de investigación acerca de sus propiedades.

La goma mezquite se obtiene, como se indicó, del género *Prosopis*, árboles ampliamente distribuidos, principalmente en las zonas áridas y semiáridas de Sudamérica, México y Estados Unidos. Pocas especies de *Prosopis* han sido estudiadas como potenciales productores de goma. El nombre mezquite ha sido acuñado genéricamente para denominar comercialmente al género *Prosopis*, no obstante existen nombres comunes propios de cada país (algarrobo y tamarugo en Chile).

En México, algunas investigaciones han demostrado que el árbol de mezquite, al estar expuesto al ataque de insectos, heridas mecánicas y en condiciones diversas de estrés fisiológico como calor y agua, segrega un exudado o goma de color rojo ámbar y a veces obscuro, a nivel del cambium vascular, que previene la desecación del tejido y evita el ingreso de agentes patógenos. Esta goma ha sido utilizada en la medicina tradicional en poblaciones indígenas, con escaso uso a nivel industrial (López-Franco *et. al.*, 2006).

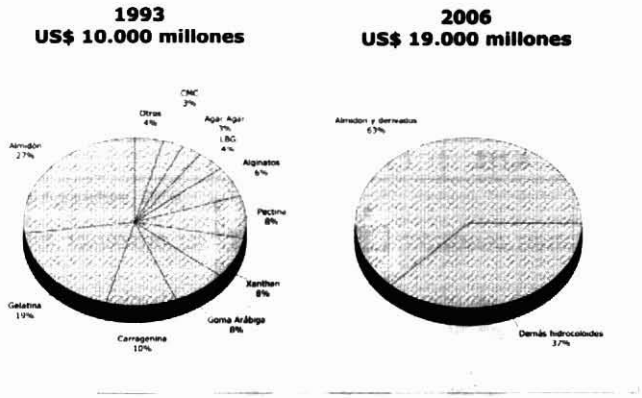
Del endospermo de la semilla se obtiene un polisacárido de la familia de las galactomananas, a la que pertenecen también las gomas guar (*Cyamopsis tetragonolobus*), tara (*Caesalpinia spinosa*) y la LBG (*Ceratonia siliqua*), utilizadas mayoritariamente como agentes espesantes y estabilizantes de diversas preparaciones alimenticias. Se ha demostrado que la galactomanana del mezquite, al igual que las de uso industrial, tiene capacidad de formar geles sinérgicos con otros polisacáridos, como la goma xantano (López-Franco et. al., 2006).

Pese a que los estudios sobre esta goma son recientes, se ha podido concluir que el polisacárido comparte similitudes en estructura primaria y propiedades emulsionantes con la goma arábiga y que las propiedades funcionales de la goma de mezquite sugieren una potencial aplicación industrial, así como la importancia del cultivo de esta especie. El principal problema en la actualidad es la disponibilidad de goma de mezquite en cantidades suficientes para asegurar una producción tal que pueda satisfacer la demanda y poder competir en el mercado; sin embargo, técnicas avanzadas de viverización y cultivos in vitro pueden entregar producciones interesantes de goma (López-Franco et. al., 2006).

INFOR

ANTECEDENTES DEL MERCADO MUNDIAL DE LOS HIDROCOLOIDES

El mercado mundial de hidrocoloides se estima en unos US$ 19.000 millones (2006), de los cuales el almidón es claramente el que domina el mercado. Excluyendo a este producto y sus derivados, el mercado de los restantes hidrocoloides se estima en unos US$ 7.000 millones. A principios de la década del '90 el almidón también destacaba sobre el resto de los otros hidrocoloides.



(Fuente: Basurto, 2001) (Fuente: Will et al, 2007)

Figura N° 5
MERCADO MUNDIAL DE MUNDIAL DE HIDROCOLOIDES

El almidón y sus derivados tienen menores precios promedio en el mercado que otros hidrocoloides, de tal maneta que frecuentemente el mercado se refiere a estos últimos como hidrocoloides con valor agregado.

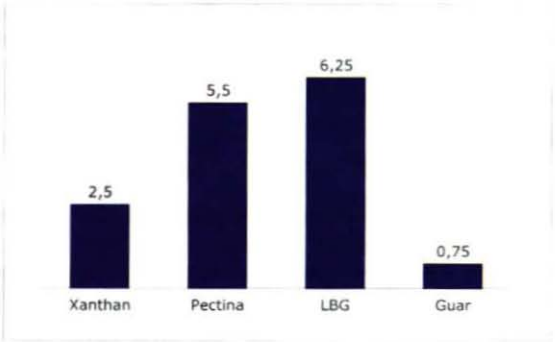
Las estimaciones de consumo mundial de hidrocoloides indican un volumen de 16,3 millones de toneladas (2006). Fuera del almidón y sus derivados, Europa constituye el más grande consumidor (43%), seguido por Norte América (33%), China (7%), Japón (5%) y otros países asiáticos. El resto de los mercados consume comparativamente volúmenes bastante inferiores, que se estiman en 77 mil toneladas (también excluido el almidón).

El crecimiento que ha mostrado la demanda mundial, en conjunto con los reducidos márgenes que están experimentando muchos negocios, están llevando a los productores de hidrocoloides a focalizar sus estrategias hacia la consolidación en los mercados de hidrocoloides más grandes y más maduros. Hasta hace un par de años el mercado de estos productos se caracterizaba por una baja movilidad en los precios y por la existencia de segmentos con proyecciones de fuerte crecimiento, particularmente la goma xantano y la pectina. En los años 2007 y 2008, el precio de los hidrocoloides se ha caracterizado por alzas importantes.

En los países desarrollados la demanda de hidrocoloides se caracteriza por ser bastante madura y se estima que hasta el año 2011 el crecimiento de estos productos rondará el 3 a 4%

anual. Algunos productos podrían exceder estas tasas, como la goma xantano y la carragenina, mientras que el almidón posiblemente se mantendrá en el piso de este rango de crecimiento. La industria del alimento es la principal aplicación de los hidrocoloides, seguida por la industria del petróleo (como aditivo para fluidos de perforación) y los productos farmacéuticos.

En el año 2007 se constató un importante incremento de los precios internacionales de hidrocoloides, debido a numerosas causas, entre ellas el alza en el precio de las algas y otras materias primas, energía, costos de transporte marítimo y costos de administración del producto. Los productores han hecho importantes esfuerzos en absorber lo más posible los costos asociados de manera de no traspasar el incremento de precios al consumidor, no obstante el escenario actual es de tal magnitud que esto podría revertirse. Para lo que resta de 2008 y para el 2009, se espera un escenario similar de incremento de precios.



(Fuente: De Guzmán, 2008)

Figura N° 6
PRECIO DE ALGUNOS HIDROCOLOIDES EN EL MERCADO INTERNACIONAL (US$/libra)

Estados Unidos concentra una importante proporción del consumo de hidrocoloides, donde el almidón y sus derivados son los principales productos utilizados, mientras que otros de mayor valor agregado, como el alginato, goma guar, LBG y la goma arábiga le siguen a distancia. El crecimiento de unos y otros se debe fundamentalmente a la habilidad que poseen de interactuar con los variados ingredientes que se incorporan a los alimentos y en mejorar sus propiedades texturales mediante gelificación, espesamiento y emulsión. Por lo tanto, el crecimiento de estas gomas está íntimamente ligado, entre otros, al crecimiento en el consumo de alimentos preparados.

INFOR

Cuadro N° 2
IMPORTACIONES DE ALGUNOS HIDROCOLOIDES EN EEUU
(US$ millones)

Producto (código HSUS)	2003	2004	2005	2006	2007
Goma Guar (1302320020)	45,2	55,7	85,7	134,9	116,1
Carraghenina (1302390010)	51,0	55,1	62,3	62,0	65,6
Pectina (1302200000)	53,6	49,2	49,6	52,2	54,2
Goma Arábiga (1301200000)	24,3	32,2	55,7	51,0	38,2
Locust Bean Gum (1302320040)	16,5	22,3	35,8	36,8	32,2
Agar-Agar (1302310000)	19,0	19,3	19,3	23,6	28,8
Otros *	4,6	7,3	3,1	4,1	34,5
TOTAL	**214,1**	**241,1**	**311,4**	**364,5**	**369,7**

Fuente: US Department of Agriculture, 2008.
Nota: No incluye almidón.
*: 1301904000, 1301909105, 1301909110, 1301909120, 1301909130, 1301909140, 1301909190, 1302390090.

El mercado para el almidón utilizado en alimentación es de unos US$ 270 millones solo en Estados Unidos. Los segmentos claves para la industria del almidón y sus derivados son las comidas preparadas, postres, preparaciones de carnes y comidas que requieren recubrimientos especiales. El mayor productor estadounidense es *National Starch*, seguido por las compañías *Staley y Cargill*. Estas dos últimas han redireccionado sus estrategias de negocios para focalizarse en otros nichos, como ingresar al mercado de la goma xantano, la cual es menos madura que el almidón, pero entregaría márgenes mucho más atractivos.

Por su parte, Europa se constituye como el mercado mundial más grande de hidrocoloides, pero es seguido cercanamente por el mercado norteamericano. Pese a ello, existen algunos tipos de productos con mayor presencia en uno y otro mercado, como la goma xantano, que es mucho más importante en Estados Unidos, y la pectina, que lo es en Europa.

Cuadro N° 3
IMPORTACIONES DE ALGUNOS HIDROCOLOIDES EN EUROPA
(US$ millones)

Producto (código TARIC)	2003	2004	2005	2006	2007
Pectina (13022010, 13022090)	156,8	172,2	177,4	184,3	215,7
Goma Arábiga (13012000)	68,7	119,5	213,5	136,0	147,5
Guar (13023290)	88,4	99,4	120,4	129,1	137,1
Locust Bean Gum (13023210)	62,5	87,4	120,3	106,4	107,4
Agar-Agar (13023100)	26,1	29,7	34,4	46,5	50,1
Otros *	293,0	339,8	351,6	375,8	458,0
TOTAL	**695,4**	**847,9**	**1.017,6**	**978,0**	**1.115,8**

Fuente: Eurostat, 2008.
Nota: No incluye almidón.
*: 13019000, 13019010, 13019090, 13023900.

El bajo crecimiento poblacional, conjuntamente con un moderado crecimiento económico, hará que en los próximos cuatro o cinco años la tasa de crecimiento anual de hidrocoloides en el oeste de Europa sea sólo de un 1,5%, mientras que en el mercado del este y centro de Europa, comparativamente más reducido que el anterior, el crecimiento será más acelerado, cercano a un 5%.

En la mayoría de las aplicaciones de hidrocoloides se proyectan moderados crecimientos, sin embargo, una excepción la constituyen las aplicaciones realizadas en los campos de petróleo, donde la goma guar y sus derivados han experimentado un excepcional crecimiento. Históricamente la competencia entre hidrocoloides ha sido importante, especialmente con polímeros sintéticos o semi sintéticos; en este sentido, muchas formulaciones que incluyen hidrocoloides son altamente sustituibles, por ejemplo, como consecuencia del incremento en el precio. En Asia el mayor consumidor es Japón, con cerca del 54% de la demanda regional de hidrocoloides, principalmente de origen importado, con excepción del agar, alginato, carragenina y gelatina. China, con el 44%, es el segundo mayor consumidor.

De acuerdo con ProChile (2008) el mercado global de los aditivos e ingredientes, donde se incluyen los hidrocoloides, es bastante difícil de cuantificar, principalmente por tres razones:

- Los productores de ingredientes son empresas generalmente muy discretas. Actúan en un mercado de extrema competencia que, a veces, puede ser de relativa facilidad para cuantificar y de compradores bien definidos. Las empresas de dicho rubro están permanentemente en confrontación con un mercado muy activo, en el cual los cambios de control accionario y otras reestructuraciones financieras acontecen a ritmo acelerado. Los grandes compran y los pequeños son comprados. En este contexto, gran parte de las empresas evitan revelar datos.

- Las características propias de la estructura de los grandes grupos industriales

INFOR

involucrados en la producción de aditivos alimenticios. Empresas gigantes como Archer Daniels Midland, Cargill, Eridania Béghin-Say, Tate & Lyle y muchas otras, procesan y comercializan tanto commodities como ingredientes y productos alimenticios listos para la venta al por menor. En este caso se hace difícil analizar los informes anuales de los grandes grupos y descubrir números específicos del negocio de ingredientes. Otros grandes conglomerados como CHR Hansen, están involucrados en la producción y comercialización de muchos tipos de aditivos diferentes, que no permiten cálculos de liderazgo de mercado y otros relevantes datos de marketing o de demanda específica.

La concentración de la industria a nivel mundial. Con fusiones y adquisiciones que acontecen casi semanalmente en un mundo globalizado, las grandes empresas del rubro están especializándose aún más, eliminando de sus portafolios los negocios que no pertenecen a su core business. Otras deciden separar claramente alguna gran unidad de negocios, en una operación independiente, creando una nueva empresa. Dichas operaciones de compra y venta generan nuevas entidades con volúmenes de venta diferentes, dificultando de esa forma el monitoreo de la información.

PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DEL MUCÍLAGO DE PROSOPIS CHILENSIS EN CHILE

Comercio Exterior de Gomas y Mucílagos Vegetales

La información estadística de las diversas gomas y mucílagos vegetales que se exportan e importan se clasifica principalmente en las partidas del Capítulo 13 del Sistema Armonizado, con excepción del almidón y algunos derivados de la celulosa.

Cuadro N° 4
CÓDIGOS DEL SISTEMA ARMONIZADO CHILENO
PARA EL COMERCIO EXTERIOR DE ALGUNOS HIDROCOLOIDES

Partida	Código	Glosa
13.01		Goma laca; gomas, resinas, gomorresinas y oleorresinas naturales (por ejemplo, bálsamos).
	1301.2000	Goma arábiga
	1301.9000	Los demás
13.02		Jugos y extractos vegetales; materias pécticas, pectinatos y pectatos; agar-agar y demás mucilagos y espesativos derivados de los vegetales, incluso modificados.
	1302.2000	Materias pécticas, pectinatos y pectatos
		Mucílagos y espesativos derivados de los vegetales, incluso modificados
	1302.3100	Agar-agar
	1302.3200	Mucilagos y espesativos derivados de la algarroba o de su semilla o de las semillas de guar, incluso modificados.
	1302.39	Los demás
	1302.3910	Carragenina
	1302.3990	Los demás

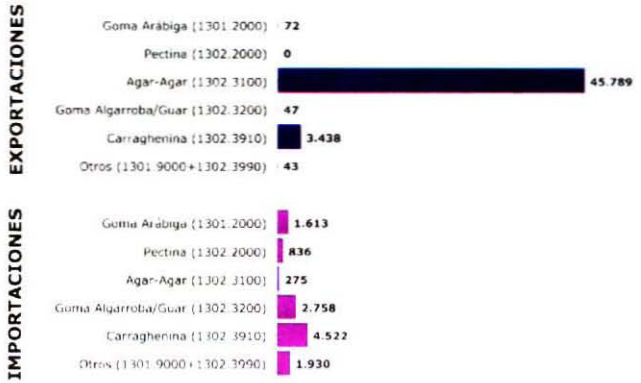
(Fuente: Servicio Nacional de Aduanas, 2006).

Chile tiene una importante exportación de hidrocoloides, principalmente aquellos derivados de vegetales marinos. El principal y que reporta los mayores montos exportados es el agar-agar, un polisacárido derivado de algunas algas rojas, fundamentalmente de los géneros *Gelidium, Euchema* y *Gracilaria*. *Gelidium* que están entre los más importantes a nivel mundial, pero en Chile la exportación de agar-agar se origina casi enteramente de *Gracilaria*, muy abundante en las costas del país. Chile exporta agar-agar a cerca de 40 países y es el mayor productor mundial en la actualidad; de las 7.500 toneladas anuales que se movilizan en el mercado mundial de agar-agar, unas 2.500 se originan en el país.

La carragenina, también originada de algas rojas, es el segundo hidrocoloide con mayor monto exportado. Destacan en esta exportación la empresa nacional Gelymar S.A. y Danisco S.A., esta última de capitales daneses. Otros polisacáridos tienen menor importancia exportadora.

Por el lado de las importaciones, destacan la carragenina y la goma de guar. Si bien este último producto corresponde a una glosa arancelaria (1302.3200) que incluye dos especies (guar y garrofero), de acuerdo con las bases de datos de comercio exterior de INFOR, la importación es mayoritariamente de goma guar.

INFOR



(Fuente: Servicio Nacional de Aduana, 2008; INFOR, 2008)

Figura N° 7
COMERCIO EXTERIOR DE HIDROCOLOIDES EN CHILE, 2007
(US$ miles)

En Chile han existido pocas experiencias en el desarrollo investigativo del mucílago de *Prosopis chilensis*, básicamente centradas en los trabajos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile a principios de la presente década. En el año 2001, CONICYT financió el proyecto "Hidrocoloides de especies de zonas áridas: extracción, caracterización y aplicaciones" ejecutado por dicha Facultad, el cual tenía como objetivo general poner a punto métodos para extraer los hidrocoloides de dos especies de zonas áridas: algarrobo chileno y nopal (tuna), y lograr una caracterización de éstos. En particular para el algarrobo, se estudiaron métodos secos (molienda) y húmedos, para la separación y posterior extracción de la goma.

Con el desarrollo del proyecto, se entregaron las bases para la obtención y mayor conocimiento de los hidrocoloides, lo que permitirá a futuro explorar la posibilidad de un desarrollo a escala industrial. A modo de ejemplo, en un estudio realizado por Ramírez (2006) en el marco del proyecto mencionado, se consideró la preparación de un tipo de postre alimenticio, budines, en los cuales se analizaron dos alternativas a la tradicional goma xantano con la que son elaborados comúnmente; goma de algarrobo chileno y goma de tara. La incorporación de estas dos gomas como reemplazo del xantano presentó sinergias y otorgó buena consistencia a los budines preparados. De acuerdo con el estudio, la calidad de los budines no se alteró significativamente hasta un máximo de 75% de reemplazo por goma de algarrobo y goma de tara, siendo a la vez muy similar a la formulación testigo, elaborada enteramente con goma xantano.

De acuerdo con la Facultad, la utilización del algarrobo permitirá un mejor uso de los suelos de las zonas áridas, mayores posibilidades para los habitantes de dichas zonas y la posibilidad de sustituir gomas de amplio uso procedentes del exterior, como la goma guar. Cabe señalar además, que este proyecto puede representar un beneficio no sólo para Chile sino también para otros países que se encuentran en las zonas áridas del mundo y que deben batallar contra la erosión y la pobreza, entre otras desventajas de dichas zonas.

Normativa sobre los Alimentos

En Chile, el Reglamento Sanitario de los Alimentos (Decreto 977/96 del Ministerio de Salud) es el cuerpo que regula y establece las condiciones sanitarias a que deberá ceñirse la producción, importación, elaboración, envase, almacenamiento, distribución y venta de alimentos para uso humano, con el objeto de proteger la salud y nutrición de la población y garantizar el suministro de productos sanos e inocuos.

El reglamento considera como aditivo alimentario a cualquier sustancia que no se consume normalmente como alimento por sí mismo ni se usa como ingrediente típico del alimento, tenga o no valor nutritivo, cuya adición intencional al alimento para un determinado fin (organoléptico, de almacenamiento, etc.) llegue a ser un complemento del alimento o que afecte sus características.

Para ser un aditivo autorizado por este reglamento, el carácter inocuo de éstos debe ser evaluado toxicológicamente, considerando especialmente los efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos, en diferentes especies de animales como asimismo en estudios bioquímicos y metabólicos. Todos los aditivos deberán cumplir las normas de identidad, de pureza y de evaluación de su toxicidad de acuerdo a las indicaciones del *Codex Alimentarius* de FAO/OMS. Los aditivos deberán declararse obligatoriamente en la rotulación, con su nombre específico según el *Codex Alimentarius*, y en orden decreciente de proporciones.

El Artículo 49 del Decreto mencionado detalla todas las sustancias espesantes, hidrocoloides o estabilizantes que están permitidas en los alimentos comercializados en Chile:

Agar
Alginato de amonio, de calcio y de sodio
Alginato de propilenglicol
Almidones modificados
Almidones pregelatinizados
Carrageninas o carragenos
Carragenatos
Celulosa microcristalina
Carboximetilcelulosa
Croscaramelosa sódica
Etil-celulosa
Hidroxipropilcelulosa
Hidroxipropilmetilcelulosa
Metilcelulosa
Metiletilcelulosa
Furcelerano o agar danés
Gelatina
Goma arábiga
Goma garrofin o de semilla de algarrobo
Goma gelan
Goma guar
Goma karaya
Goma tara
Goma tragacanto
Goma xanthana
Pectinas

INFOR

Cabe señalar que en la lista anterior no están presentes las gomas que se han elaborado a partir de *Prosopis spp.*, debido a que éstas aún se encuentran en proceso investigativo y de validación alimenticia, fundamentalmente con algunas especies de *Prosopis* en Perú y México.

Antecedentes de la Especie *Prosopis chilensis*

Prosopis chilensis crece en Chile, Argentina, Perú y Bolivia. En Chile se desarrolla en zonas desérticas y de clima mediterráneo perárido, árido y semiárido, ocupando suelos de buen drenaje. Se desarrolla en áreas montañosas en piedemontes o planos inclinados de depósito en faldeos de cerros y en terrazas aluviales antiguas, en sectores con acuíferos superficiales y subterráneos.

En poblaciones naturales hay individuos arbustivos, sub arbóreos y arbóreos muy grandes, y con gran variabilidad en la presencia y magnitud de las espinas, y en el tamaño y forma de los frutos. Es un árbol fijador de nitrógeno. Su importancia y usos son variados; posee rápido crecimiento, es adecuado para forestación de zonas áridas y semiáridas, tiene un alto valor forrajero de frutos y hojas y también se le utiliza para fines dendroenergéticos. La madera es apta para construcciones y artesanías, además de su valor ornamental como árbol de sombra por su copa amplia y elegante follaje.

Según INFOR (2007), la superficie plantada con algarrobo en Chile al año 2005 era de 5.140 ha, aproximadamente un 0,2% de la superficie total nacional de plantaciones forestales, estando más concentrada en la Región de Tarapacá (3.246 ha).

Los frutos de *Prosopis chilensis* tienen 7 a 11% de proteínas, 30% de mucilagos, 26% de fibra y 1,6 a 2% de rutina y quercitina (flavonoides), teniendo muy buena digestibilidad y bajo tenor graso, razón por la cual son utilizables en la alimentación humana y animal

Considerando sólo las semillas (sin vainas), cambian las proporciones anteriores, puesto que éstas contienen un 32,0% de proteína, 2,5% de aminoácidos esenciales (metionina y cisteína) 3,0% de lípidos, 8,4% de fibra y 42,8% de hidratos de carbono. Por ejemplo, los frutos o vainas del algarrobo blanco son ricos en hidratos de carbono y proteínas de valor nutricional, y proveen hierro y calcio, presentando un bajo contenido graso y buena digestibilidad. Como su contenido de hidratos de carbono es menor que el de la harina de trigo, su consumo es aconsejable para los diabéticos. Además, permite la elaboración de alimentos para celíacos, dado que la harina no contiene glúten (Vásquez *et al*, 1988).

Procesamiento del Fruto para Extracción de Mucílagos

Los procesos industriales para la obtención de productos del fruto del algarrobo se basan en la molienda y separación de éstos en fracciones. Todos los procesos probados señalan que los frutos deben estar muy secos, con contenidos de humedad cercanos al 5% debido a que se debe manejar el alto contenido de azúcares en los frutos. Los porcentajes de humedad superior causan problemas en las máquinas de molienda. El proceso descrito para algarrobo tiene un esquema como el que se describe en la Figura N° 8.

INFOR



(Fuente: Vásquez et al, 1988).

Figura N° 8
ESQUEMA GENERAL DEL PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE VAINAS DE ALGARROBO

Fracción A: Corresponde a la harina de algarrobo. Es la fracción más importante de todo el conjunto de productos y representa cerca del 60% del fruto; se compone principalmente de azúcares (sucrosa, glucosa, fructosa), por ello, se le utiliza como sustituto de la harina de trigo y cereales. El gusto especial de la harina de algarrobo lo potencia como un componente interesante en el área de los endulzantes o bien como parte de los productos de repostería. También, por su contenido de alcoholes, sería útil para energía.

Fracción B: Representa el 20 a 25% de los frutos. El análisis químico no revela que esta fracción sea interesante desde el punto de vista de los alimentos y menos para el consumo humano. Es muy rudo y fibroso, por lo que requiere mucha molienda y eventualmente tratamiento de calor para su uso. No tiene valor nutricional dado que la mayor parte de él son fibras.

Fracción C: Representa un 40% de cubierta de semilla y un 60% de endosperma que contiene una goma del tipo galactomanano. La cubierta de semillas no tiene valor nutricional. El galactomanano es el producto económicamente interesante de esta fracción, pues se puede utilizar como elemento para la farmacopea, alimentación humana y de animales.

INFOR

Fracción D: Esta fracción contiene básicamente los cotiledones de las semillas y constituyen una fuente interesante de proteínas y grasas (Vásquez et al., 1988).

Prosopis chilensis, como todas las especies del género, posee un potencial interesante para la producción de mucílagos galactomananos ya que se caracterizan por poseer entre sus componentes, polisacáridos desarrollados generalmente porque la planta crece en marcadas condiciones de estrés. El endosperma de las semillas de Prosopis contiene galactomananos que pueden ser separados mediante un proceso acuoso, produciendo gomas con un 85-95% de pureza.



(Fuente: Vásquez et al, 1988)

Figura N° 9
ESQUEMA GENERAL DEL PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE VAINAS DE ALGARROBO PARA OBTENCIÓN DE MUCÍLAGO

Vásquez *et al.* (1988), presentan la siguiente tabla con la composición química proximal de la semilla de Algarrobo.

Cuadro N° 5
COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE SEMILLA, VAINA SIN SEMILLA Y MUCÍLAGO DE ALGARROBO
(g/100g)

	Semilla	Vaina sin Semilla	Mucílago
Humedad	14,8	12,8	8,0
Cenizas	2,9	2,8	1,9
Proteina (NX6,2,5)	26,8	6,5	6,9
Extracto etéreo	3,2	1,6	0,2
Fibra cruda	7,2	18,5	1,3
Extracto no nitrogenado*	45,0	58,0	81,7

* Por diferencia

CONCLUSIONES

- Las gomas y mucílagos de origen vegetal constituyen un importante grupo entre los aditivos alimentarios, los cuales son sustancias que no son un alimento en si mismas, sino que añaden a éstos cualidades de conservación, textura, aspecto, viscosidad y otros, de gran interés tanto para la industria como para el consumidor.

- También llamados hidrocoloides, las gomas y mucílagos se encuentran en una gran variedad de plantas, en sus frutos, semillas y como exudación de sus troncos. Excepto la gelatina, todos los hidrocoloides son del tipo polisacáridos, grupo que contiene a los galactomananos, en el cual se encuentra la goma de algarrobo, la goma de tara y la de otras leguminosas.

- El almidón y sus derivados son, por mucho, los principales hidrocoloides de uso comercial, con un consumo masivo y precios inferiores al resto de los hidrocoloides. El mercado mundial se estima en US$ 19 mil millones, con una participación del almidón y sus derivados superior al 63%.

- Hay una gran variedad de hidrocoloides distintos del almidón y sus derivados, todos de uso comercial. Entre estos se pueden mencionar: agar, alginato, carragenina, xantano, pectina, goma arábiga, goma guar, goma garrofín y goma mezquite. En volumen, se estima que el mercado mundial de estos hidrocoloides alcanza a 272 mil toneladas, donde Europa es el mayor consumidor con una participación de 43%, seguido por Norteamérica con 33%, China con 7% y Japón con 5%.

- A nivel mundial, el mercado de hidrocoloides no muestra una tendencia de crecimiento rápido, estimándose que para el año 2011 éste alcanzará una tasa media anual entre 3-4%.

INFOR

- Chile es el mayor productor mundial de agar-agar, con una participación de un tercio de las 7.500 toneladas que se movilizan anualmente en el mercado. Pero también Chile importa otros tipos de hidrocoloides para su consumo, entre los que se encuentra la goma guar.

- La producción y uso de goma a partir de *Proposis chilensis*, algarrobo, tiene buenas perspectivas, particularmente porque esta especie crece muy bien en zonas áridas y semiáridas, donde el establecimiento de otra vegetación es muy difícil o de costo muy alto. Sin embargo, es necesario investigar varios aspectos de la silvicultura, manejo e industrialización de la especie, para llegar a determinar su potencial comercial en la producción de mucílago.

REFERENCIAS

Basurto, L., 2001. Estudio de Mercado sobre Gomas o Hidrocoloides: Resinas y Látex. En: http://www.geocities.com/lebr7/goma2.htm

CONICYT, 2001. Proyecto "Hidrocoloides de Especies de Zonas Áridas: Extracción, **caracterización** y aplicaciones. Resumen en http://ri.conicyt.cl/575/article-14131.html

De Guzmán, D., 2008. Hidrocolloids Price under Preasure.En http://www.icis.com/Articles/2008/01/28/9095601/Hydrocolloids-price-under-pressure.html

EUROSTAT, 2008. Servicio de Información Estadística de la Unión Europea. En http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/external_trade/introduction

INFOR, 2007. Estadísticas Forestales Chilenas 2006. Boletín Estadístico 117. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura. Chile. 163 p.

INFOR, 2008. Base de Datos de Exportaciones e Importaciones. Instituto Forestal. Unidad de Estadísticas. Sede Metropolitana. Santiago, Chile.

López-Franco et. al., 2006. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ProChile, 2008. El Mercado Mundial de Ingredientes y Aditivos. En http://www.prochile.cl/newsletters/america_sur/brasil_aditivos_1mercado.php

Ramírez, M. 2006. Elaboración de un Postre Lácteo con incorporación de Gomas de Algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) y Tara (Caesalpinia spinosa). Tesis Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 41 p. En: http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2006/ramirez_m/html/index-frames.html

Servicio Nacional de Aduanas, 2006. Arancel Aduanero de la República de Chile. Decreto N° 997 (DO 16 diciembre 2006) Modifica el Arancel Aduanero Nacional. Servicio Nacional de

Aduanas, Ministerio de Hacienda. Chile.

Servicio Nacional de Aduana, 2008. Base de datos ESTACOMEX on line. En http://200.72.160.89/estacomex/asp/index.asp.

US Department of Agriculture, 2008. Foreing Agricultural Service's US Trade Internet System. En <http://www.fas.usda.gov/ffpd/fpd.html>. Consulta: Junio 2008.

Vásquez, M., Carbonell, E. y Costell, E., 1988. Comportamiento Reológico de Soluciones Acuosas de la Goma de Algarrobo (Prosopis chilensis (Mol.) Stuntz). Comparación con el de las gomas guar y garrofín. Rev. Agroquímica y Tecnología de Alimentos 12(12): 251-260.

Will, R; Loechner, U; and Yokose, K., 2007. Hidrocolloids (Abstracts). En http://www.sriconsulting.com/CEH/Public/Reports/582.7000/>

INFOR

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 compresión 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

INFOR

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 articulos, 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, pais 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, pais y correo, letra 10, normal minúsculas, bajo una linea horizontal, justificado a ambos lados, y bajo esto otra linea horizontal. Ej:

EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE COMO MOTOR DE EMPRENDIMIENTO DEL MUNDO RURAL: LA EXPERIENCIA EN CHILE. Victor Vargas Rojas. Instituto Forestal. Ingeniero Forestal. Mg. Economia 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 titulos 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 Nº 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 Nº 1). Gráficos, fotos y similares serán presentadas como figuras y al ser mencionadas en texto (Figura Nº 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 Nº , 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 Nº , 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*.

INFOR

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 atenidas 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 m^3, 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 (Articulo 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.

INFOR

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL

ARTICULOS	PAGINA
INVENTÁRIO DE BIOMASSA EM UM PLANTIO DE *Pinus elliottii* Engelm. AOS 23 ANOS DE IDADE NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL. **Marcos Vinicius Giongo Alves, Henrique Soares Koehler e Luiz Marcelo Brum Rossi. Brasil.**	143
DESARROLLO DE UN MODELO DE PLAN DE MANEJO PARA ÁREAS PROTEGIDAS EN BOSQUES CON ARAUCARIA EN EL SUR DE BRASIL. **Maria Augusta Doetzer Rosot, Pablo Cruz, Yeda Maria Malheiros de Oliveira, Hugo Rivera y Patricia Povoa de Mattos. Brasil.**	153
COMPORTAMIENTO FRENTE A LA SEQUÍA DE PLANTAS REBROTADAS TRAS TALA EN BOSQUE MEDITERRÁNEO EL CASO DE *Quercus ilex*. **Fleck, I, Aranda. X y Peña-Rojas, K. España.**	175
ESTRATEGIAS PARA LA RESTAURACIÓN DE PAISAJES FORESTALES EXPERIENCIAS EN MISIONES, ARGENTINA. **Florencia Montagnini Beatriz Eibl Roberto Fernández, Matthew Brewer. Argentina.**	191
MODELOS DE CRECIMIENTO PARA *Eucalyptus globulus* EN MONTE BAJO ENTRE LAS REGIONES DE VALPARAÍSO Y LOS LAGOS. **Juan Carlos Pinilla S. Chile.**	207
APUNTES	
PROGRAMA DE INVENTARIO CONTINUO DE LOS RECURSOS COMPRENDIDOS EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES NATIVOS. **Carlos Bahamóndez y Marjorie Martin. Chile.**	235
ALAMOS Y SAUCES, LAS SALICACEAS EN EL MUNDO Y EN CHILE. **Santiago Barros Asenjo. Chile.**	243
PRODUCTOS CON OPORTUNIDADES DE DESARROLLO EN CHILE: MUCÍLAGO DE ALGARROBO CHILENO (*Prosopis chilensis*). **Daniel Soto y Janina Gysling. Chile.**	255
REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN	277

INFOR

GOBIERNO DE CHILE
Ministerio de Agricultura

Volumen 15 Nº 2
Agosto 2009