

Volumen 13 N° 2  
Agosto 2007

BIBLIOTECA  
INSTITUTO FORESTAL

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

# CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL



INSTITUTO FORESTAL  
CHILE



**INFOR**



29 NOV 2007

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

**VOLUMEN 13 N° 2**

**CIENCIA E  
INVESTIGACION  
FORESTAL**

**AGOSTO 2007**

Propiedad Intelectual  
Registro N° 165020

RELACIONES INTERNACIONALES Y COMUNICACIONES INFOR

**INSTITUTO FORESTAL  
CHILE**





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

<b>Directora</b>	<b>Marta Abalos Romero</b>	<b>INFOR</b>	<b>Chile</b>
<b>Editor</b>	<b>Santiago Barros Asenjo</b>	<b>INFOR – IUFRO</b>	<b>Chile</b>
<b>Consejo Editor</b>	<b>Sandra Perret Durán</b>	<b>INFOR La Serena</b>	<b>Chile</b>
	<b>Norberto Parra Hidalgo</b>	<b>INFOR Santiago</b>	<b>Chile</b>
	<b>Braulio Gutiérrez Caro</b>	<b>INFOR Concepción</b>	<b>Chile</b>
	<b>Jorge Cabrera Perramón</b>	<b>INFOR Valdivia</b>	<b>Chile</b>
	<b>Paulo Moreno Meynard</b>	<b>INFOR Coyhaique</b>	<b>Chile</b>
<b>Comité Editor</b>	<b>José Bava</b>	<b>CIEFAP</b>	<b>Argentina</b>
	<b>Leonardo Gallo</b>	<b>INTA</b>	<b>Argentina</b>
	<b>Mónica Gabay</b>	<b>SayDS</b>	<b>Argentina</b>
	<b>Heinrich Schmutzhenhofer</b>	<b>IUFRO</b>	<b>Austria</b>
	<b>Marcos Drumond</b>	<b>EMBRAPA</b>	<b>Brasil</b>
	<b>Sebastiao Machado</b>	<b>UFPR</b>	<b>Brasil</b>
	<b>Antonio Vita</b>	<b>UCH</b>	<b>Chile</b>
	<b>Juan Gastó</b>	<b>UC</b>	<b>Chile</b>
	<b>Miguel Espinosa</b>	<b>UDEC</b>	<b>Chile</b>
	<b>Sergio Donoso</b>	<b>UCH</b>	<b>Chile</b>
	<b>Vicente Pérez</b>	<b>USACH</b>	<b>Chile</b>
	<b>Camilo Aldana</b>	<b>CONIF</b>	<b>Colombia</b>
	<b>Glenn Galloway</b>	<b>CATIE</b>	<b>Costa Rica</b>
	<b>José Joaquín Campos</b>	<b>CATIE</b>	<b>Costa Rica</b>
	<b>Ynocente Betancourt</b>	<b>UPR</b>	<b>Cuba</b>
	<b>Carla Cárdenas</b>	<b>MINAMBIENTE – IUFRO</b>	<b>Ecuador</b>
	<b>Alejandro López de Roma</b>	<b>INIA</b>	<b>España</b>
	<b>Isabel Cañelas</b>	<b>INIA - IUFRO</b>	<b>España</b>
	<b>Gerardo Mery</b>	<b>METLA - IUFRO</b>	<b>Finlandia</b>
	<b>Markku Kanninen</b>	<b>CIFOR</b>	<b>Indonesia</b>
	<b>José Antonio Prado</b>	<b>FAO</b>	<b>Italia</b>
	<b>Concepción Lujan</b>	<b>UACH</b>	<b>México</b>
	<b>Oscar Aguirre</b>	<b>UANL</b>	<b>México</b>
	<b>Margarida Tomé</b>	<b>UTL - IUFRO</b>	<b>Portugal</b>
	<b>Zohra Bennadji</b>	<b>INIA - IUFRO</b>	<b>Uruguay</b>
	<b>Florencia Montagnini</b>	<b>U Yale - IUFRO</b>	<b>USA</b>
	<b>John Parrotta</b>	<b>USDAFS - IUFRO</b>	<b>USA</b>
	<b>Osvaldo Encinas</b>	<b>ULA</b>	<b>Venezuela</b>
<b>Dirección</b>	<b>Instituto Forestal</b>		
	<b>Huérfanos 554 Casilla 3085 - Santiago, Chile</b>		
	<b>Fono 56 2 6930720 Fax 56 2 6381286</b>		
	<b>Correo electrónico <a href="mailto:sbarros@infor.gob.cl">sbarros@infor.gob.cl</a></b>		

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

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

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





---

# FIFTY YEARS OF RESEARCH ON ESTABLISHING AND GROWING TREES IN WIND EXPOSED DEFORESTED AREAS OF NORTHERN SCOTLAND

Alan Harrison, Bill Rayner and Bill Mason<sup>1</sup>

## SUMMARY

Forests in the United Kingdom (UK) have been cleared for agricultural use and exploited for timber, fuel and other forest products for the past 8000 years. By 1600 AD, much of the natural forest had disappeared, and following increased industrialisation and population expansion, by 1900 only 4 % forest cover remained.

The British Forestry Commission was set up in 1919 to reverse this trend and establish a 'strategic reserve' of timber. By 2005 there was 12 % forest cover in the UK as a whole, with 17% of Scotland afforested, largely with non-native conifers. Much of the land available for tree planting tended to be poor quality agricultural land of low nutrient status that was concentrated in the north and west of Britain, often at higher elevations or in coastal regions, where wind exposure was also a major problem.

The wind climate in northern Scotland is one of the most severe in the northern hemisphere with yearly average wind speeds ranging from about 3.0 m s<sup>-1</sup> in sheltered valleys to over 8.0 m s<sup>-1</sup> in the western and northern Isles. As a result, wind can be the over-riding limiting factor on tree growth and accurate assessment of the windiness of a site is essential. The use of 'tatter flags' was developed as an accurate, on-site method of windiness assessment. 'Tatter data' gained from a large number of trial sites were used to develop a scoring method for assessing site wind exposure and the subsequent suitability for tree planting.

Species choice for exposed sites has been limited not only by the need to withstand adverse climatic conditions but also by the poor nutritional status of the soils in many of these exposed areas. Those 'pioneer' species that have proven most successful include the conifers *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*, and the broadleaves *Betula* sp., *Salix* sp., *Populus* sp., and *Alnus* sp. Growing more demanding species in mixture with a pioneer species as a 'nurse' can have nutritional and shelter benefits.

When designing forest blocks, having the edge rows of a slower growing and extremely exposure tolerant species provides a wind buffer for the more valuable trees within the block. Use of less exposure tolerant tree and shrub species should be delayed until the pioneer plantings are well established and a forest microclimate has developed. Results from a series of some 60 trial plots established from 1950 onwards in the outer islands and at high elevations

---

<sup>1</sup> Forest Research, Northern Research Station, Scotland, UK  
alan.harrison@forestry.gsi.gov.uk

have shown that it is possible to grow trees in very exposed conditions and that growth rates within a forest block can be comparable with many more sheltered sites. Trees on the outer edges of a block will suffer from exposure and gain height more slowly, therefore it is necessary that blocks of trees are wide and large enough to allow for this edge effect. Wind will always be a limiting factor on tree height with rotation age being a compromise between maximising production and minimising the risk of wind blow. Regeneration of exposed forest blocks is best achieved by replanting gaps created by wind blow or by small-scale fellings.

## CINCUENTA AÑOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE ESTABLECIMIENTO Y CULTIVO DE ÁRBOLES EN ÁREAS DEFORESTADAS EXPUESTAS AL VIENTO EN EL NORTE DE ESCOCIA

### RESUMEN

Los bosques en el Reino Unido (UK) han sido eliminados para uso agrícola de los suelos y explotados para obtener madera, combustible y otros productos forestales durante los últimos 8 mil años. Alrededor de 1600 DC, la mayor parte de los bosques naturales habían desaparecido y, después de la creciente industrialización y expansión de la población, al inicio del Siglo XX sólo quedaba un 4 % de cubierta forestal.

La Comisión Forestal británica fue formada en 1919 para revertir esta tendencia y establecer una "reserva estratégica de madera". En el año 2005 la cubierta forestal en el reino Unido era 12 %, con un 17 % de forestación escocesa y mayoritariamente con coníferas no nativas. Gran parte de la tierra disponible para plantaciones forestales tendía a ser de pobre calidad para la agricultura, suelos de bajo estado nutricional, en el norte y oeste de Gran Bretaña, a menudo en altas elevaciones o en zonas costeras, donde los la exposición a los vientos era un problema importante.

Los vientos en el norte de Escocia son de los más severos del hemisferio norte, con promedios anuales de velocidad de alrededor de 3 m/s en valles protegidos a más de 8 m/s en las islas del oeste y el norte. Resultado de esto es que el viento es el más importante factor limitante para el crecimiento de árboles y una correcta evaluación del régimen de vientos de un lugar es esencial. El uso de *tatter flags* (banderas que se hacen jirones por efecto del viento) fue desarrollado como un adecuado método de terreno para evaluar los vientos. La información obtenida con el uso de estos dispositivos en una gran cantidad de sitios de ensayo fue la base para desarrollar un método de puntuación para evaluar la exposición al viento de un sitio determinado y así definir qué tan apropiado es para plantaciones forestales.

La selección de especies para sitios expuestos ha estado limitada no sólo por la necesidad de enfrentar condiciones climáticas adversas sino que también por el pobre estado nutricional de los suelos en muchos de estas áreas expuestas. Entre las especies pioneras, que han probado ser más exitosas, se cuentan las coníferas *Picea sitchensis* y *Pinus contorta* y latifoliadas de los géneros *Betula*, *Populus* y *Alnus*. El cultivo de especies con mayor demanda por sitio, creciendo en combinaciones con las especies pioneras, como nodrizas, puede tener beneficios en términos de nutrición y abrigo.

Al diseñar los bloques de plantación, se instala en los bordes hileras de especies de lento crecimiento muy tolerantes a la exposición al viento y se obtiene así una aislamiento

contra el viento al interior de los bloques para las especies de mayor valor. El uso de especies arbóreas y arbustivas menos tolerantes a la exposición al viento debe ser diferido hasta que las pioneras estén bien establecidas y un microclima forestal se haya desarrollado al interior de éstas. Resultados de una serie de más de 60 parcelas de ensayo, establecidas desde 1950 en las islas del exterior y en zonas elevadas, han mostrado que es posible cultivar árboles en condiciones muy expuestas y que las tasas de crecimiento al interior de un bloque pueden ser comparables a las de muchos otros sitios protegidos. Los árboles de las orillas de los bloques sufrirán la exposición al viento y ganarán altura más lentamente y es necesario que los bloques plantados sean suficientemente anchos y grandes como para permitir el efecto de protección a su interior. El viento será siempre un factor limitante sobre la altura de los árboles y la edad de rotación resulta un compromiso entre maximizar la producción y minimizar el riesgo del daño por el viento. La mantención de los bloques en áreas expuestas se efectúa mediante el replante de fallas o áreas dañadas y de sectores de cortas en pequeña escala.

## INTRODUCTION

Forests in Great Britain began to develop around 12 - 10,000 BP following the end of the last Ice Age. Tree species migrated northwards from refugia in Southern Europe as the climate warmed, however, the severing of land links with the rest of Europe due to rising sea levels resulted in a species poor flora with just 33 species of native trees, only 3 of which are conifers. By the time of man's arrival around 10,000 BP, much of the country was covered by forest, which was dominated by deciduous broadleaf trees in the south and at lower elevations in the north. The one native forest-forming conifer, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), was restricted to the northern half of Scotland. As the human population grew, the needs for living space, agriculture, fuel, timber and other forest products led to an increasing rate of forest exploitation.

By 1600 AD most of the natural lowland forests in the British Isles had disappeared and the pine forests of Scotland were under increasing threat. With the industrial revolution in the 18<sup>th</sup> century came increasing urbanisation and a rapid rise in population requiring more land clearance for agriculture and putting further pressure on the already limited forest resource such that the country became a net importer of timber. By 1900 the forest area of Britain had dwindled to just 4%, mostly in small isolated blocks or in areas protected for historical reasons e.g. royal hunting preserves.

The reliance on imported timber gave rise to critical shortages during the First World War (1914–19). This led to the passing of the 'Forestry Act, 1919' and the creation of the British Forestry Commission with the remit to manage and expand the country's timber resource as a 'strategic reserve' against future shortages.

Trees were to be planted on land considered of low agricultural value, which was largely located in the north and west of the country, often at higher elevations or in coastal regions where wind exposure would be a major factor in determining tree growth. As a consequence a programme of new planting commenced, largely with non-native conifer species from north-western America, and in particular with Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.), a species that proved far more productive and adaptable than the native Scots pine.

By 2005 the forest area of Great Britain had increased to 12% of the land area, a total of 2.9 million hectares (Forestry Commission, 2005) while within Scotland the forest area was 17% (1.3 Mha), and of this 81% was conifer forest. A breakdown of the species grown is given in Table N<sup>o</sup> 1. Currently, the rate of afforestation in Scotland is around 6K ha yr<sup>-1</sup> and much lower than in previous decades (e.g. 20–25K ha yr<sup>-1</sup> during the 1980's) and also changing in emphasis towards broadleaf and native species. Much of the commercial planting is concentrated on replanting felled areas as the conifers planted in the 1950's and 60's reach rotation age (40–50 years). This replanting is likely to peak in the next 10 – 20 years. With replanting, the opportunity is being taken to correct some of the environmental and landscaping mistakes of the past.



**Table N° 1**  
**PERCENTAGE OF FOREST COVER BY TREE SPECIES IN GREAT BRITAIN (GB) COMPARED TO**  
**SCOTLAND SHOWING THE PREDOMINANCE OF SITKA SPRUCE (*Picea sitchensis*) AS A**  
**PRODUCTIVE CONIFER**

SPECIES	FOREST AREA	
	GB (%)	Scotland (%)
<b>Conifers</b>		
<i>Pinus sylvestris</i>	9	12
<i>Pinus contorta</i>	6	11
<i>Picea sitchensis</i>	29	47
<i>Larix</i> sp.	6	6
Others	10	5
<b>Broadleaves</b>		
<i>Quercus</i> sp.	9	2
<i>Fraxinus excelsior</i>	5	<1
<i>Betula</i> sp.	7	7
Others	19	9

(Smith and Gilbert, 2003)

Following changes in governance within the United Kingdom, since 1997 forestry policy in Scotland and its implementation has been devolved to the restored Scottish Parliament. A new Scottish Forestry Strategy has just been published (Forestry Commission Scotland, 2006) which has seven key themes. These are: Using forestry to reduce the impacts of climate change; getting the most from Scotland's increasing and sustainable timber resource; strengthening forestry through business development to underpin sustainable forest management; supporting community development; facilitating access to and enjoyment of woodlands; protecting environmental quality; and restoring, maintaining and enhancing biodiversity. There is also a target of increasing forest cover to around 25% of the land area through an expanded afforestation programme.

As outlined above, the establishment of an extensive forest resource in Scotland in less than a century has been achieved to a considerable extent though the afforestation of marginal agricultural lands of poor nutrient quality and on sites where wind exposure was one of the limiting factors to tree growth. In this brief paper are reviewed some of the main conclusions to be drawn from that experience with particular reference to trial plantations in conditions of more extreme wind exposure.

## **BRIEF OVERVIEW OF CLIMATIC AND SITE FACTORS AND THEIR IMPACT ON GENERAL AFFORESTATION PRACTICE**

The Scottish climate is oceanic in nature, particularly on the western side warmed by the Gulf Stream, which raises mean temperatures above that expected in a country lying between latitudes 55°N and 60°N. It is characterised by relatively high annual rainfall ranging from around 600 mm in the agricultural lowland areas of eastern Scotland to nearly 4000 mm

in the mountainous areas of the north and west. The rainfall is spread evenly throughout the year, there are mild winters (rarely below  $-5^{\circ}\text{C}$ ) and cool summers (mean  $\sim 16^{\circ}\text{C}$ ).

The wind climate is simple and severe (Quine, 1995) and is dominated by regular depressions which pass south-west to north-east across the country with the strongest winds experienced during the winter months. Quine et al. (1999) showed that average annual wind speeds at near sea level in the western Isles were more than  $7.0\text{ m s}^{-1}$  with a predicted 1:50 year maximum gust of about  $50\text{ m s}^{-1}$ : the equivalent values for a sheltered valley site 100 km away from the coast were  $2.7$  and  $37\text{ m s}^{-1}$ , respectively. Other studies have shown that at wind speeds in excess of about  $45\text{ m s}^{-1}$  catastrophic wind damage to forests can be expected, while between  $35$  and  $45\text{ m s}^{-1}$  widespread damage will occur but the extent will be mediated by site and by stand structure, while between  $25$  and  $35\text{ m s}^{-1}$  the influence of site and stand predominates (Quine et al., 1995; Mason, 2002). These figures indicate how silvicultural practice in Scottish forests has to be adapted to local wind climate and assessment of local wind exposure is therefore of considerable importance in evaluating potential for afforestation, establishment practice and subsequent stand management.

The severity of wind exposure depends upon various factors including elevation, the degree of shelter from the surrounding topography and the position within the overall landmass. Over the past 40 years the system used for estimating exposure has been based on the use of 'tatter flags' (Miller et al., 1987), which has been widely used throughout Great Britain and also in other countries. The system uses flags of a standard size that are mounted  $1.5\text{ m}$  above ground: the flags are composed of a cotton cloth that disintegrates ('tatters') at a known rate relative to wind exposure. Flags are changed and assessed for tatter every two months for a three-year period, thus avoiding any effect due to short-term fluctuations in wind speed. Though tatter rates can vary depending on the moisture content of the cloth and freezing, the overall results give a dependable assessment of exposure. Tatter rate is expressed in values of  $\text{cm}^2\text{ day}^{-1}$  and mean tatter rates of  $>13$  indicate severely exposed sites while values of  $<4.0$  characterise very sheltered ones. Values of  $12\text{ cm}^2\text{ day}^{-1}$  have been found to be a good indicator of the commercial limit for planting of Sitka spruce (Miller et al., 1987).

Relating tatter rates to elevation and topography at a large number of trial sites has been used to compile an exposure scoring system, the Detailed Aspect Method of Scoring (DAMS), and a wind zone map of Britain, which shows clearly that the North and West of Scotland are extremely exposed. This system of scoring exposure is linked with knowledge of soil rooting and local wind climate to develop an estimate of the probability of wind damage to forest stands. This estimate is contained within the wind risk model ForestGALES (Dunham et al., 2000) which allows the user to evaluate risks of wind damage as a function of site and silviculture. In practice, the normal limit of commercial tree planting is limited to sites of DAMS 19 and below. The limit for planting of native species for environmental reasons is normally taken to be DAMS 22 (Hale et al., 1998).

Since the early 1990's, British foresters have used the Ecological Site Classification (ESC) (Pyatt et al., 2001) to assess the potential of sites for tree planting, growth and productivity. ESC is a bioclimatic index that integrates three principal factors that determine



site quality, namely climate, soil moisture regime and soil nutrient regime. The classification uses four climatic factors (warmth, wetness or moisture deficit, continentality, and windiness) in combination with the two soil measures to evaluate site potential. In practice, warmth and windiness have been shown to be the most important of the climatic factors influencing tree growth, particularly of Sitka spruce (Worrell and Malcolm, 1990).

Soil moisture regime is divided into eight classes from 'very dry' to 'very wet' where the four wetter categories indicate soils where there is an increasing degree of waterlogging which will result in impaired aeration and limit root growth unless remedial cultivation and drainage is used. For the purpose of this paper, it is sufficient to say that many upland sites in Scotland which were afforested in the last century were characterised by ironpan, gleys or peat soils, all of which would have fallen into the wetter soil classes (Zehetmayr, 1954 and 1960).

ESC distinguishes five classes of soil nutrient regime ranging from 'very poor' to 'very rich' with an additional 'carbonate' class for soils that are rich in calcium and  $\text{pH} > 7.5$ ; these latter are very rare in Scottish forests. Within the other classes the typical pHs are between 3.0 and 4.0 in the 'very poor' compared with 4.5 to 7.0 in the 'very rich'. The 'very poor' and 'poor' soils where much afforestation took place are generally characterised by low availability of phosphorus and nitrogen, and also by low potassium if there is an appreciable depth of peat (Pyatt *et al.*, 2001). Nitrogen status is also dependent upon lithology and is influenced by the presence of heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), an ericaceous shrub which can interfere with the mycorrhizal development in 'sensitive' species such as Sitka spruce (Taylor and Tabbush, 1990).

The combined effect of these site factors was such that successful afforestation in Scotland depended upon the development of establishment techniques that would mitigate low levels of soil fertility, would limit competition from ericaceous weeds, would provide improved soil aeration and drainage and would be based around the use of species that would withstand wind exposure. Extensive empirical trials carried out in the period from about 1930 to 1960 helped define a basic afforestation system (Wood, 1974) which, with some modifications, is still in use today. This is based around the use of soil cultivation to provide some site drainage, increase aeration in the rooting zone, and produce a weed free planting site.

Planting takes place in the late winter or early spring (February-April in the Northern Hemisphere) using predominantly bare-rooted plants of 20-40 cm in height and 3-5 mm root collar diameter. Spacing of 1.9 to 2.0 m is customary with a target of 2500 stems  $\text{ha}^{-1}$ . Phosphate fertiliser was almost invariably supplied at planting (60 kg elemental P  $\text{ha}^{-1}$ ) and possibly once more before canopy closure. Potassium and nitrogen fertilisers were applied at 100 kg and 150 kg element  $\text{ha}^{-1}$  on soil types where these macronutrients were lacking. Current recommendations can be found in a number of technical publications (Morgan, 1999; Paterson and Mason, 1999; Taylor, 1991).

Sitka spruce became the species of choice because of its greater productivity over a wide range of sites plus its tolerance of the risks associated with transfer from nursery to

planting site and its ability to withstand wind exposure. The risk of windthrow has meant that stands on more exposed sites are often placed on a non-thinning regime, and in parts of the country this may exceed 50 per cent of the forest area (Mason, 2006). The discovery that planting Sitka spruce in a nursing mixture with slower growing Scots or lodgepole pines, or larch, would allow spruce to maintain a satisfactory nitrogen status on nitrogen deficient ('very poor') sites through beneficial mycorrhizal associations (Taylor, 1991) with the nurse species increased the amount of spruce that was planted on such soils. These mixtures generally self-thin towards a pure spruce stand resulting in trees of larger mean diameter than would result from a pure Sitka spruce stand grown on a non-thin regime. Rotation ages have tended to be between 40 and 60 years, depending primarily upon productivity and windthrow risk.

## AFFORESTATION OF EXTREME SITES

As part of the wider afforestation programme, a series of some 60 trial plots was established from 1950 onwards in the islands off the Scottish mainland and at high elevations, with some going beyond the commercial tree line (Nixon and Tyler, 1993). Of particular relevance to the afforestation of windy conditions in the southern hemisphere such as the Magallanes Region of Southern Chile are the trials established on some of the coastal islands off the north and west coasts of Scotland, the Outer Hebrides, Orkney and Shetland. These are largely treeless landscapes that suffer from extreme exposure. The establishment of trees on the islands could have shelter, biodiversity and social benefits. These trials have shown that it is possible to grow trees in very exposed conditions and that growth rates within a forest block can be comparable with many more sheltered sites. All these plots were established with the afforestation techniques of the time using site cultivation with spaced furrow ploughing to 40-60 cm depth with phosphate fertilisation at planting, sometimes augmented by additional nitrogen and potassium inputs (Nixon and Tyler, 1993). Plot sizes have ranged from small shelterbelts of 0.1 ha up to larger areas of perhaps 3-4 ha in extent. Detailed results from the island trials have been described by Low (1987), Sharpe and Jacyna (1993), and Quine and Sharpe (1997) and only summary information is provided below.

Tatter flags were flown at a number of the island trial sites, and the highest rates of tatter tended to be recorded in the Outer Hebrides to the west of the Scottish mainland. The rates of 7.6 to 12.1 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup> are equivalent to mean annual wind speeds of 4.8 to 6.0 m s<sup>-1</sup> using relationships in Quine and Sharpe (1997). The tatter rates on Shetland (8.0 to 10.6 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>) to the north of the Scottish mainland are similar to the Outer Hebrides, if slightly less, but those on Orkney closer to the Scottish mainland appear appreciably lower with values of 4.5 to 9.6 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>. However, perhaps as interesting is that in none of the cases are the rates of tatter so extreme that growth of Sitka spruce would be impossible.

Nixon and Tyler (1993) analysed the results from 30 trials at both high elevation and on the Scottish islands with tatter rates ranging from 6.3 to 16.9 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup> and showed that Sitka spruce height increment had begun to decline at 12 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup> and had effectively ceased at 16 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>. By contrast, in Scots pine, height increment was already declining at sites with exposure rates of 5 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup> and had ceased by 12 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>. Thus depending upon the

species chosen, it appears that despite their windswept and treeless appearance, it is possible for trees to grow satisfactorily under these exposed conditions. Furthermore, once a species has been established and started to provide some shelter, then other species can be planted in the lee of the original planting. Quine and Sharpe (1997) studied upwind and downwind tatter rates in shelterbelts on the Outer Hebrides, Orkney, and Shetland. In four of the five belts examined, the down wind tatter rate was substantially less than the upwind rate at both one and five tree height distances from the centre of the belt, and in two cases it was still less at 15 tree height distance.

A good example of the processes involved is provided by the trial Hoy 1 in the Orkney Islands (Low, 1987). This 4.0 hectare trial was planted in 1954 on a peaty gley soil at about 1 km from the sea at an elevation of 65-80 m and an eastern aspect. The exposure was estimated at  $9.6 \text{ cm}^2 \text{ day}^{-1}$  which would be considered very exposed. The trial contained blocks of both pure and mixed species predominately of Sitka spruce and lodgepole pine (*Pinus contorta*), but also including *Larix kaemferi*, *Abies procera* and *Tsuga heterophylla*. The trial was planted inside a shelterbelt of mountain pine *Pinus mugo*. It was initially slow to establish and suffered from some shoot dieback but gained pace as the shelterbelt grew and mutual shelter within the blocks increased. An assessment done in 2005 showed that after 52 years the Sitka spruce had reached a top height of 18 metres in the central plots and had a mean basal area of  $64 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . This is a potentially useful commercial size and equates to a general yield class of 10. The lodgepole pine has done similarly well for both height and basal area. However, the other species have largely failed.

A characteristic of all these exposed plots is the edge effect of progressively smaller tree heights nearer the plot edge. In order to maximise the effects of mutual shelter and ensure good tree growth in the majority of trees, it is essential that planted areas are sufficiently large and wide enough to accommodate the losses due to this edge effect. Trials with narrow belts of trees on the more northerly Shetland Islands have shown that not only is tree growth poor but also that there is a greater risk of early windblow. Based on this experience Low (1987) recommended that all belts should be at least 20 m and preferably 30 m wide if they were to provide effective shelter. Length of the area planted is also important since the sheltered zone behind a belt is triangular in shape (Gardiner, 2006). When designing forest blocks for exposed situations it has been found to be advantageous to have the edge rows composed of a non-commercial, slower growing and extremely exposure tolerant species e.g. mountain pine (*Pinus mugo*) or Sitka spruce of Alaskan origin. The number of guard rows need not be more than 5 or 6 trees wide. This acts as a wind buffer for the more valuable trees within the block.

Within the trials in the northern and western islands windblow has been occurring sporadically over the last 10 years. This has tended to be in small patches towards the centre of plots, with the edges remaining windfirm. This pattern is likely to be linked to trees on the edge of plots being more windfirm while the increased wind speed over the top of the belt results in increased turbulence and damage to less windfirm trees (Gardiner, 2006). The risk of such damage can be reduced if the belt is thinned or planted with a mixture of species so that it is more porous to the wind. While the wind damage has caused problems of access and requires clearing it also offers a good opportunity to regenerate parts of the plots and

potentially plant a greater variety of less wind tolerant species in the shelter of the remaining trees. Given that once the canopy is broken further windblow is more likely, the method of replanting gaps as they appear provides the best way of ultimately regenerating the whole of a block. This has added advantage of creating a more diverse structure that should prove more stable and sustainable for future use. If a plot were to be newly planted, it would be worth considering sustainability and variable age structure from the onset by the sequential planting of either strips or blocks within a windfirm yet porous buffer to create something akin to a shelterwood system. Similar histories of wind damage to trial plantations are reported from the Faroe Islands (Odum, 1991).

Table Nº 2

**LIST OF THE TREE AND SHRUB SPECIES THAT HAVE PROVED MOST SUCCESSFUL IN TREE PLANTING TRIALS IN THE OUTER HEBRIDES  
 THOSE THAT HAVE MOST POTENTIAL FOR FORMING STANDS IN AFFORESTATION CONDITIONS ARE SHOWN IN BOLD.**

Conifers	Broadleaves	Shrubs
<i>Picea sitchensis</i>	<b><i>Acer pseudoplatanus</i></b>	<i>Escallonia macrantha</i>
<b><i>Pinus contorta</i></b>	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Lonicera ledebourii</i>
<b><i>Cupressocyparis leylandii</i></b>	<i>Alnus incana</i>	<i>Oleana macrodonta</i>
<i>Abies grandis</i>	<b><i>Aesculus hippocastanum</i></b>	<i>Phormium tenax</i>
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Ribes alpinum</i>
<i>Cupressus macrocarpa</i>	<i>Castanea sativa</i>	<i>Senecio grayii</i>
<i>Larix decidua</i>	<i>Crataegus oxycantha</i>	
<i>Larix x eurolepis</i>	<b><i>Fagus sylvatica</i></b>	
<i>Larix kaempferi</i>	<i>Nothofagus nervosa</i>	
<i>Pinus nigra var maritima</i>	<i>Populus serotina</i>	
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Populus alba</i>	
<i>Pinus mugo</i>	<i>Populus tremula</i>	
<i>Tsuga heterophylla</i>	<i>Prunus padus</i>	
	<i>Quercus ilex</i>	
	<i>Quercus rubra</i>	
	<i>Salix caprea</i>	
	<i>Salix daphnoides</i>	
	<i>Sorbus aucuparia</i>	
	<i>Sorbus aria</i>	
	<i>Ulmus glabra</i>	

(Sharpe and Jacyna, 1993).

## Species Choice

Species choice for exposed sites has been limited not only by the need to withstand adverse climatic conditions including the effects of salt spray but also by the poor nutritional status of the soils in many of these areas. Of all the commercial species trialed, Sitka spruce and lodgepole pine are clearly the most well adapted to survival and growth in extreme conditions in Scotland (Low, 1987).



The use of the correct seed origin is also very important. Sitka spruce of Queen Charlotte Islands, British Columbia origin and lodgepole pine of Alaskan or north coastal British Columbia origin are to be preferred. Other origins of lodgepole pine tend to be much less exposure tolerant and are prone to butt sweeping and instability. Table N° 2 provides a list of the other successful species used in plantings on the Outer Hebrides based on the report of Sharpe and Jacyna (1993). Odum (1991) provides a similar list for the Faroes.

There have been some trials at these extreme sites of the nursing mixtures of Sitka spruce with a 'nurse' of either lodgepole pine or larch discussed by Taylor (1990). The results have been equivocal in that it appears that the benefits of the mixture may be limited under more exposed conditions since Nixon and Tyler (1993) found that the height growth of spruce in mixture declined as exposure increased from tatter rates of 8.0 to 11.6 cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>. However, Low (1987) reported that some of the northern trials had self-thinned towards more stable pure spruce stands.

## CONCLUSIONS

The history of afforestation in northern Scotland over the last century shows that it is possible to establish woodlands on sites subject to considerable wind exposure provided that robust establishment techniques are used, that the sites are selected so that some initial topographic shelter is available, and that the species planted are tolerant both of exposure and low soil fertility.

An important lesson is the need for blocks to be of sufficient size so some mutual shelter is available to the trees and edge effects are minimised.

Under the conditions prevailing in the western and northern isles, there appears to be little sense in trying to establish a range of species at the beginning of an afforestation project. It is more important to use pioneer species to develop a forest environment and then progressively introduce more sensitive species into the lee of the established trees or in gaps that develop within the woodland.

One effect of wind exposure is that the timescale for establishment of an effective forest block is likely to be significantly longer than would be the case in more sheltered areas.

It may be possible to grow commercial sizes and quantities of timber products provided that the trees are planted in sufficiently large blocks to gain adequate mutual shelter. An ultimate aim may be to try and develop an irregular stand with a variable canopy structure and a range of species which is likely to prove more resilient to wind damage and sustainable over time than an even aged block.

## REFERENCES

Dunham, R., Gardiner, B.A., Quine, C.P., and Suarez, J.C., 2000. ForestGALES, a PC Based Wind Risk Model for British Forests: Users Guide. Forestry Commission, Edinburgh.

- Forestry Commission, 2005.** Forestry Statistics 2005. Forestry Commission, Edinburgh.
- Forestry Commission Scotland, 2006.** The Scottish Forestry Strategy. Forestry Commission, Edinburgh.
- Gardiner, B.A., 2006.** The Principles of Using Woods for Shelter. Forestry Commission Information Note 81, Forestry commission, Edinburgh.
- Hale, S.E., Quine, C.P. and Suarez, J.C., 1998.** Climatic Conditions Associated with Treelines of Scots Pine and Birch in Highland Scotland. *Scottish Forestry*, 52, 70-76.
- Low, A.J., 1987.** Tree Planting Prospects in Shetland and Orkney. *Scottish Forestry* 41, 282-296.
- Mason, W.L., 2002.** Are Irregular Stands more Windfirm? *Forestry*, 75, 347-355.
- Mason, W.L., 2006.** Silviculture of Scottish Forests at a Time of Change. *Journal of Sustainable Forest Management*, in press.
- Miller, K.F., Quine, C.P., and Hunt, J., 1987.** The Assessment of Wind Exposure for Forestry in Upland Britain. *Forestry*, 60, 179-192.
- Morgan, J.L., 1999.** Forest Tree Seedlings – Best Practice in Supply, Treatment and Planting. Forestry Commission Bulletin 121, Forestry Commission, Edinburgh
- Nixon, C.J. and Tyler, A.L., 1993.** Forest Trials at High Elevations in Britain. Proceedings of a NATO Advanced Workshop on Forest Development in Cold Climates. Plenum Press, New York, 475-490.
- Odum, S., 1991.** Choice of Species and Origins for Arboriculture in Greenland and the Faroe Islands. *Danish Dendrological Yearbook*, 9, 73 pp.
- Paterson, D.B. and Mason, W.L., 1999.** The Cultivation of Soils for Forestry. Forestry Commission Bulletin 119, Forestry Commission, Edinburgh
- Pyatt, D.G., Ray, D., and Fletcher, J., 2001.** An Ecological Site Classification for Forestry in Great Britain. Forestry Commission Bulletin 124, Forestry Commission, Edinburgh.
- Quine, C.P., 1995.** Assessing the Risk of Wind Damage to Forests: Practice and Pitfalls. In: *Wind and Trees*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 379-403.
- Quine, C.P. and Sharpe, A.L., 1997.** Evaluation of Exposure and the Effectiveness of Shelterbelts on the Western and Northern Isles of Scotland. *Scottish Forestry*, 51, 210-216.
- Quine, C.P., Humphrey, J., and Ferris, R., 1999.** Should the Wind Disturbance Patterns Observed in Natural Forests be Mimicked in Planted Forests in the British uplands? *Forestry*, 72, 337-358.
- Quine, C.P., Coutts, M.P., Gardiner, B.A., and Pyatt, D.G., 1995.** Forests and Wind: Management to Minimize Damage. Forestry Commission Bulletin 114, HMSO, London.
- Sharpe, A.L. and Jacyna, S., 1993.** The Potential for Tree Growth and Woodland Creation in the Western Isles of Scotland. *Scottish Forestry*, 47, 154-165.

---

**Smith, S., and Gilbert, J., 2003.** National Inventory of Woodland and Trees – Great Britain. Forestry Commission, Edinburgh.

**Taylor, C.M.A., 1991.** Forest Fertilisation in Britain. Forestry Commission Bulletin 95, HMSO, London.

**Taylor, C.M.A. and Tabbushh, P.M., 1990.** Nitrogen Deficiency in Sitka Spruce Plantations. Forestry Commission Bulletin 89, HMSO, London.

**Wood, R.F., 1974.** Fifty Years of Forestry Research. Forestry Commission Bulletin 50, HMSO, London.

**Worrell, R. and Malcolm, D.C., 1990.** Productivity of Sitka Spruce in Northern Britain. I. The Effects of Elevation and Climate. Forestry, 63, 105-118.

**Zehetmayr, J.W.L., 1954.** Experiments in Tree Planting on Peat. Forestry Commission Bulletin 22, HMSO, London.

**Zehetmayr, J.W.L., 1960.** Afforestation of Upland Heaths. Forestry Commission Bulletin 32, HMSO, London.

---

# AVANCES BIOTECNOLÓGICOS EN CASTAÑO MULTIPLICACIÓN *IN VITRO* DE ÁRBOLES SUPERIORES

Marta González O<sup>1</sup>., Oriana Ortiz N<sup>2</sup>. y Susana Benedetti R<sup>3</sup>

## RESÚMEN

Entre las actividades de investigación llevadas a cabo por el Instituto Forestal se ha desarrollado una serie de proyectos relacionados con especies de madera valiosas, siendo una de las principales el castaño (*Castanea sativa*). Por medio de ellos se ha detectado la necesidad de contar con plantas de calidad y en cantidad suficiente para establecer plantaciones con fines forestales.

El presente trabajo fue llevado a cabo con el objetivo de producir replicas de árboles superiores de castaño, mediante técnicas de micropropagación o cultivo *in vitro*.

Se probó un total de 31 árboles superiores, de los cuáles 29 clones fueron establecidos y multiplicados en laboratorio. La tasa de multiplicación fue variable dependiendo del clon. Se obtuvo porcentajes de 70 a 100 % tanto para la etapa de enraizamiento como para la de supervivencia, luego de la aclimatación.

Los avances desarrollados en la micropropagación de árboles superiores adultos de castaño, ya permiten utilizar esta técnica para obtener réplicas de individuos selectos y generar plantas de características superiores, destinadas a promover el cultivo forestal de la especie y la generación de madera de alto valor de castaño en Chile.

**Palabras claves:** *Castanea sativa*, mejoramiento genético, cultivo *in vitro*.

---

<sup>1</sup> Instituto Forestal. Chile. mgonzale@infor.gob.cl

<sup>2</sup> Instituto Forestal. Chile. oortiz@infor.gob.cl

<sup>3</sup> Instituto Forestal. Chile. sbenedet@infor.gob.cl

## BIOTECHNOLOGICAL ADVANCES IN CHESTNUT SUPERIOR TREES *IN VITRO* PROPAGATION

### SUMMARY

Among research activities carried out by the Forest Institute of Chile, a series of projects related to valuable wood species has been made, being one of the main species chestnut (*Castanea sativa*). Through them, it has been detected the need to have high quality seedlings in a sufficient number to establish forest plantations.

The present study was carried out with the objective to produce superior copies of chestnut, through micropropagation or *in vitro* culture techniques.

Superior trees (31) were tested, from which 29 clones were established and multiplied in laboratory. Multiplication rate was variable depending on the clone. From 70 to 100 % propagation success was obtained during the rooting to acclimatization stages.

Micropropagation advances of adult superior chestnut trees, allow using this technique to obtain copies of select individuals and to generate superior characteristics seedlings destined to promote chestnut forest culture and high value wood generations in Chile.

**Key words:** *Castanea sativa*, genetic improvement, *in vitro* culture.

## INTRODUCCIÓN

Entre las actividades de investigación llevadas a cabo por el Instituto Forestal se han realizado una serie de proyectos relacionados con especies de madera valiosas. Por medio de ellos se ha detectado la necesidad de contar con plantas de calidad y en cantidad suficiente para establecer plantaciones con fines forestales. Recogiendo esta inquietud, se ha tomado la decisión de trabajar con castaño para superar los inconvenientes técnicos y responder a las necesidades del sector privado.

El castaño es una especie tradicionalmente cultivada en Chile, principalmente por su aptitud frutal, cuyo mercado ha sido el interno y de consumo directo por parte de los propietarios dueños de los bosquetes o árboles, así como para la alimentación animal (directa en el lugar o como parte integrante de una alimentación artificial). En cuanto a su aptitud forestal, esta especie de madera fina, forma parte de un nicho de mercado selecto, que compra maderas a valores muy elevados. Es así que en el mercado europeo se transan trozas de castaño en valores que fluctúan entre los 150 - 500 US \$/m<sup>3</sup>. Incluso en Chile se comercializa castaño, pero se vende como encino, dado el mayor conocimiento y valoración que existe de ésta especie, a pesar de que sus características tecnológicas y su color más claro hace al castaño una materia prima sustituto muy apreciada por los mueblistas (Loewe y González, 2002).

Con el objeto de avanzar en la temática biotecnológica del castaño, el Instituto Forestal se encuentra desarrollando los proyectos "Uso de Herramientas Biotecnológicas para Aumentar la Rentabilidad de Plantaciones de Castaño en la VIII Región" financiado por Innova Bio-Bio y FIA y "Hacia el Desarrollo del Castaño Forestal en Chile", financiado por FONDEF. Uno de los objetivos de estos proyectos es implementar diversas acciones para mejorar la productividad de las plantaciones de castaño, tales como la selección de árboles superiores y la propagación de estos mediante el uso de organogénesis somática y semilla genéticamente mejorada en la producción de plantas.

Cabe señalar que en el caso de castaño, existen factores que no han permitido un desarrollo importante de sus plantaciones para destino industrial y su valor se ve opacado por el uso de materiales genéticos inadecuados, particularmente de variedades que no son las idóneas para la producción maderera, en ocasiones incluso de variedades destinadas a producción de frutos.

Estas condiciones permiten suponer que es necesario impulsar el establecimiento y manejo de plantaciones forestales a través del desarrollo y perfeccionamiento de tecnologías que permitan maximizar la productividad de la especie aprovechando las instancias de fomento disponibles según las condiciones de cada propietario, es decir, crear la base productiva con condiciones óptimas para la obtención de madera de alta calidad. En este sentido, la existencia de un mercado real en el país para la madera de castaño y toda mejora tecnológica y de fomento a la forestación, permitirán consolidar al castaño como una opción real de diversificación y negocio forestal en Chile.

A continuación, son presentados los principales aspectos técnicos relacionados con la multiplicación *in vitro* de árboles superiores de castaño, información que pretende presentar los avances logrado por medio de esta técnica en material vegetal adulto, seleccionado para producir madera de alto valor en la especie.

## MATERIAL Y MÉTODO

La micropropagación de especies forestales, en este caso castaño, es una herramienta muy útil para masificar material genético selecto, constituyendo así un importante elemento de apoyo para transferir las ganancias obtenidas en los programas de selección y mejoramiento genético.

Su aplicación operativa requiere la ejecución de las siguientes etapas sucesivas:

- Identificación y selección del material a propagar (árboles superiores)
- Colecta de propágulos y establecimiento de cultivos.
- Desarrollo y multiplicación de brotes.
- Enraizamiento de brotes.
- Aclimatación de plantas.

### Identificación y Selección de Árboles Superiores

El material vegetal a propagar se cosechó desde árboles seleccionados (*plus*). La selección de candidatos a *plus* se inició con la búsqueda de los árboles desde plantaciones de castaño ya identificadas por INFOR y que presentaban individuos de interés forestal. Estos rodales ubicados entre la VIII y X Región fueron recorridos sistemáticamente en busca de árboles superiores. Cabe señalar que el origen principal de los árboles seleccionados (principalmente en la VIII Región) corresponde en la mayoría de los casos a árboles frutales que han tenido muy poco manejo pero que presentan características forestales de interés, también se seleccionó rodales (para las Regiones IX y X) que fueron plantados para producir madera y han sido manejados irregularmente, pero que, sin embargo, presentan características dendrométricas y fenotípicas de interés forestal, es decir, árboles producidos de semillas (sin injertar) que fueron plantados a alta densidad, siendo la mayoría de ellos escasamente manejados. La cosecha de material, *púas*, se realizó en terreno a través del escalamiento de los árboles superiores previamente seleccionados.

El material a micropropagar correspondió a árboles adultos, lo cual esta asociado a un mayor grado de dificultad para el cultivo *in vitro*, debido a factores tales como, contaminación de explantes, necrosis apical, oxidación, enraizamiento y posterior supervivencia *ex vitro*.

También es importante destacar que existe un factor de tipo clonal, que ocasiona una respuesta diferenciada de los clones a los medios de cultivo. Distintos clones exhiben mayor o menor facilidad para el establecimiento e iniciación de los cultivos, además de diferentes tasas de multiplicación y respuestas a los tratamientos de enraizamiento. En este caso, se trabajó con un número moderado de clones (31), encontrándose diferencias importantes entre ellos (Figura N° 1).



**Figura N° 1**  
**ÁRBOL SUPERIOR DE CASTAÑO SELECCIONADO PARA SER MICROPROPAGADO**  
**X REGIÓN, CHILE**

### **Colecta de Propágulos y Establecimiento de Cultivos**

Mediante escalamiento de los árboles selectos se obtuvo porciones de ramas con yemas latentes, las cuales fueron almacenadas en cámara de frío y posteriormente inducidas a brotar en laboratorio, bajo condiciones controladas de asepsia, fotoperiodo y temperatura. Una vez iniciado el desarrollo de los brotes, fueron cortadas, sometidas a un protocolo de asepsia y establecidas en frascos de vidrio de 200 ml con 60 ml de un medio de cultivo basado en el de Gresshoff y Doy (1972) con los macronutrientes reducidos a la mitad, sin hormonas, suplementado con sacarosa (3% p/v) y agar (0,7% p/v, Difco-Bacto Agar). El pH fue ajustado a 5,7 con HCl 0,1 N, antes de ponerlo en autoclave por 20 minutos a 0,1 Mpa. Esta última labor se desarrolló bajo máximas condiciones de asepsia, en una cámara de flujo laminar, manteniendo una rigurosa identificación del material.

El principal problema en esta fase fue la frecuente oxidación de los cultivos, la cual fue muy intensa en algunos clones, lo que provocó una pérdida importante de brotes. En algunos clones esta pérdida fue de hasta el 60 % de los explantes ya establecidos libres de contaminación.

Para mitigar este problema, los explantes fueron repicados a medio fresco, tan pronto como se observaba la presencia de oxidación en el cultivo. Adicionalmente, durante esta fase y por un periodo de 4 a 6 semanas, los cultivos fueron mantenidos en una condición de semisombra. También se observó una respuesta positiva a la adición de PVP (Polivinpirrolidone) al medio de cultivo, en una dosis de 60 mg/L.

### Desarrollo y Multiplicación de Brotes

Una vez observada la estabilización de los cultivos (caracterizada por brotación abundante y crecimiento normal del callo), los explantes fueron traspasados a frascos de mayor tamaño, utilizando finalmente una variante del medio BTM (Chalupa, 1983) desarrollada por el proyecto. Se probó tres medios de cultivos; GD, BTM (Chalupa, 1983) y DKW (Driver y Kuniyuki, 1984), con diferentes concentraciones de citoquinina (6-benzylaminopurine) y agentes gelificantes como Agar y Phytigel. Se observó un comportamiento diferenciado de los clones a los distintos medios de cultivo utilizados.

El principal problema presentado en esta fase fue la necrosis apical de los explantes. Para evitar esto se reemplazó la tapa de los frascos por una doble capa de film de polietileno, con el objetivo de permitir un mayor intercambio de gases, lo que ayudó a corregir este problema y el de la vitrificación de los cultivos. Además, se observó que la utilización de una concentración de 0,125 mg/L de BAP, provocó en algunos clones una excesiva elongación de los explantes, por lo que se aplicó una dosis más alta de esta hormona, en los tratamientos de multiplicación.

Durante la fase de multiplicación de brotes, los explantes fueron periódicamente seccionados para su multiplicación y traspasados a medio fresco. Los cultivos fueron mantenidos en las mismas condiciones ambientales de la etapa anterior.

### Enraizamiento de Brotes

Los ensayos de enraizamiento, fueron efectuados con aquellos clones que presentaron las tasas más altas de multiplicación, sobre los 100 brotes cultivados *in vitro*. El principal problema que presentó la especie, fue la necrosis apical producto de la aplicación de la auxina IBA (Ácido Indol-Butírico), lo que provoca su muerte. Este efecto ha sido reportado en numerosos estudios de la especie al respecto (Sánchez *et al*, 1997a; Sánchez *et al*, 1997 b; Sánchez y Vieitez, 1991; Vieitez *et al*, 1986).

Como procedimiento, se adoptó colocar los brotes en medio MS<sub>2</sub>, ° nitratos, sales y vitaminas, 3 mg/L de IBA y agar; luego colocar durante 5 días en oscuridad y traspasar a medio BTM<sub>2</sub>, sin hormona y finalmente en fotoperíodo normal como el utilizado operacionalmente para la producción de plantas, ya que con este se obtienen los porcentajes de enraizamiento más altos, en conjunto con un mejor resultado en cuanto al manejo de la necrosis apical. Este procedimiento se basa en la utilización de medios de cultivo sucesivos, de manera de utilizar uno para la primera fase llamada de inducción de raíces y otro para una segunda fase de expresión, que es donde se forman y emergen las raíces del brote.

Adicionalmente, se ha observado que la adición de calcio, en la forma de Pantetonato de calcio, al medio de expresión de raíces (BTM \_ sin hormonas) eleva los porcentajes de enraizamiento sobre 70 % en todos los clones ensayados y, además, mejora la estructura de las raíces obtenidas, tanto en conexión vascular como en su número y forma. El enraizamiento de los brotes alargados se efectuó en un proceso de dos etapas sucesivas. La primera de inducción de raíces en oscuridad y con estimulación hormonal y la segunda de expresión y elongación radicular, en la cual se forman y emergen las raíces del brote.

## Aclimatación de Plantas

Las plantas producidas *in vitro* inicialmente presentan estomas no funcionales, por lo tanto deben someterse a un proceso de aclimatación, en el cual se acondiciona la planta para permitir su sobrevivencia en un ambiente normal.

Para tal efecto, una vez ocurrido el enraizamiento y cuando las raíces alcanzan 4 cm de longitud, los explantes fueron repicados a cajas con un sustrato compuesto por turba, perlita y un medio de cultivo líquido desarrollado por INFOR, correspondiente a una variación del medio BTM sin sacarosa y con los macronutrientes reducidos a la mitad. Las cajas fueron cubiertas con film de polietileno, que se retiró por intervalos progresivos de tiempo para exponer en forma gradual a la planta a condiciones de humedad *ex vitro*.

## RESULTADOS

### Identificación y Sección de Árboles Superiores

Se identificó un total de 31 árboles superiores (Cuadro N° 1), con una edad que fluctúa entre los 15 y 45 años.

Cuadro N° 1  
 ÁRBOLES DE CASTAÑO SELECCIONADOS PARA MICROPROPAGACIÓN

N° de árboles seleccionados	Predio	Propietario	Año Plantación	Comuna	Provincia	Región
1	Lanahue	Forestal Mininco	1979	Cañete	Arauco	VIII
2	Santa Luisa (Jauja)	Forestal Mininco	1980	Collipulli	Malleco	IX
2	Quilas Bajas	Herman Toeter		Quepe	Cautín	IX
2	Voipir	Carlos Weber	1973	Villarrica	Cautín	IX
3	Pillo Pillo	Forestal Tornagaleones	1980	Valdivia	Valdivia	X
1	Los Copihues	Forestal Anchile		Valdivia	Valdivia	X
5	Las Palmas	UACH	1962	Valdivia	Valdivia	X
2	Los Pinos	UACH	1975	Valdivia	Valdivia	X
1	Tornagaleones	Forestal Anchile		Corral	Valdivia	X
3	Las Minas	Forestal Tornagaleones	1982	Corral	Valdivia	X
2	Taico	Forestal Anchile	1989	Paillico	Valdivia	X
2	Las Trancas	Forestal Valdivia	1975	La Unión	Valdivia	X
3	Peleco	Forestal Valdivia	1976	La Unión	Valdivia	X
1	San Pedro	Forestal Valdivia	1980	Los Lagos	Valdivia	X
1	Pumillahue	Forestal Tornagaleones	1982	Máfil	Valdivia	X

## Colecta de Propágulos y Establecimiento de Cultivos

El procedimiento utilizado para colectar y establecer asépticamente el material, permitió instalar en cultivo *in vitro* a 28 clones de los 31 árboles superiores seleccionados.

### Desarrollo y Multiplicación de Brotes

La tasa de multiplicación obtenida fue variable, obteniéndose al cabo de seis meses clones con elevadas tasas de multiplicación y otros donde esta no fue mayor a 1:2.

### Enraizamiento de Brotes

El procedimiento utilizado para el enraizamiento permitió obtener porcentajes de éxito entre 70 y 100 % y disminuir la incidencia de la necrosis apical provocada por la auxina utilizada para estimular la formación de raíces (Figura N° 2).



Figura N° 2  
ETAPA DE ENRAIZAMIENTO DE BROTES DE CASTAÑO, VIII REGIÓN, CHILE

### Aclimatación de Plantas

Durante la etapa de aclimatación se obtuvo un porcentaje de sobrevivencia de las plantas micropropagadas que varió entre clones, entre un 70 y 100 %, permitiendo obtener plantas funcionales autotróficas (Figura N° 3).



Figura N° 3

**PLANTAS MICROPROPAGADAS DE ÁRBOLES SUPERIORES DE CASTAÑO, VIII REGIÓN, CHILE**

## CONCLUSIONES

El protocolo de micropropagación desarrollado por INFOR para multiplicar árboles adultos de castaño ha demostrado ser una alternativa viable para la obtención de réplicas vegetativas de individuos de características productivas superiores.

Estos promisorios resultados facultan la masificación de genotipos superiores y el posterior aprovechamiento de sus ventajas productivas en plantaciones operacionales destinadas a la producción de madera de alta calidad.

Las plantas obtenidas experimentan un desarrollo normal y serán próximamente establecidas en ensayos clonales de terreno, para continuar evaluando su comportamiento a través del tiempo.

La rigurosa evaluación de los ensayos clonales que serán próximamente establecidos permitirá la adopción de esquemas de silvicultura clonal o de plantaciones mixtas con participación de castaños clonales, aspecto que permitirá aumentar la productividad de sus plantaciones, en la medida que se utilicen clones selectos de manifiesta superioridad productiva y probada superioridad de su desempeño en terreno.

## REFERENCIAS

**Chalupa, V., 1983.** Micropropagation of Conifer and Broad-Leaved Forest Trees. *Communications Instituti Forestalis Cechosloveniae* 13: 7-39.

**Driver, J. A. y Kuniyuki, A. H., 1984.** In Vitro Propagation of Paradox Walnut Rootstock. *Hortscience* 19: 507-509.

**Gresshoff, P. M. y Doy, C.H., 1972.** Development and Differentiation of Haploid *Lycopersicum esculentum*. *Planta* 107: 161-170.

**Loewe, M. V. y González, O. M., 2002.** Una Tarea Pendiente: Rescate y Valorización de Recursos Genéticos de Nogal (*Juglans regia*) y Castaño (*Castanea sativa*) Chilenos para la Producción de Maderas Valiosas. *Revista Chile Forestal* 294: 51-56.

**Sánchez, M. y Vieitez, A., 1991.** In Vitro Morphogenetic Competence of Basal Sprouts and Crown Branches of Mature Chesnut. *Tree Physiology*, 8: 59-70

**Sánchez, M.; Ballester, A. y Vieitez, A., 1997 a.** Reinvigoration Treatments for the Micropropagation of Mature Chesnut Trees. *Annales des Sciences Forestières* 54: 359-370.

**Sánchez, M.; Ferro, C.; Ballester A. y Vieitez, A., 1997 b.** Improving Micropropagation Conditions for Adult-Phase Shoots of Chestnut.

**Vieitez, A.; Vieitez, M. y Vieitez, E., 1986.** Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 1: Trees I, 393-414.

---

## BOSQUE MODELO: DESARROLLO SUSTENTABLE EN ACCIÓN

Gabay, Mónica<sup>1</sup>

### RESUMEN

Este trabajo presenta el concepto de bosque modelo y las lecciones de la experiencia fruto de diez años de trabajo del Programa Nacional de Bosques Modelo en la República Argentina. Originados en el Canadá, los bosques modelo han sido definidos como *"asociaciones de voluntades que en consenso planifiquen y gestionen modelos de desarrollo sustentable en ecosistemas boscosos, con la meta de elevar la calidad de vida de las comunidades marginadas o de bajos recursos como pauta fundamental"*.

La adopción de esta filosofía supone un cambio en el paradigma tradicional de planificación de los recursos naturales, ya que el protagonismo es asumido por la comunidad, incluyendo a los grupos tradicionalmente marginados. En efecto, los bosques modelo constituyen verdaderas alianzas estratégicas enfocadas a la resolución de conflictos y a la promoción del desarrollo sustentable local basado en la planificación y gestión inclusivas con plena participación de los actores sociales clave.

El bosque modelo se convierte, entonces, en una herramienta fundamental para concretar en el terreno la noción de desarrollo sustentable, brindando alternativas a los habitantes del bosque para el manejo forestal sustentable que posibiliten mejorar su calidad de vida.

El trabajo en red a nivel nacional, regional e internacional potencia las capacidades de los bosques modelo a través del intercambio de conocimientos y experiencias, así como la cooperación horizontal. La Red Internacional de Bosques Modelo involucra actualmente más de cuarenta sitios en todo el mundo, en tanto que la Red Regional de Bosques Modelo para América Latina y el Caribe se encuentra en pleno crecimiento.

Se trata, pues, de una filosofía práctica que ofrece resultados tangibles para el desarrollo sustentable local y la reducción de la pobreza, en línea con los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

**Palabras claves:** Bosque modelo, manejo forestal sustentable, trabajo en red, manejo colaborativo.

---

<sup>1</sup> Coordinadora Nacional, Programa Nacional de Bosques Modelo (PNBM) – Dirección de Bosques – Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, República Argentina; mgabay@medioambiente.gov.ar

## MODEL FOREST: SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ACTION

### SUMMARY

This paper presents the model forest concept and the lessons of experience resulting from ten years of work by the National Model Forest Program in Argentina. Originated in Canada, model forests have been defined as *"associations of will that plan and manage in consensus sustainable development models in forest ecosystems, with the goal of raising the living standard of marginal or low-income communities as a fundamental guideline"*

The adoption of this philosophy involves a change in the traditional natural resources planning paradigm, since the leading role is assumed by the community, including traditionally marginalised stakeholders. Indeed, model forests are actual strategic partnerships focused in conflict resolution and local sustainable development promotion based in inclusive planning and management with full participation of key stakeholders.

The model forest thus becomes a fundamental tool for realizing the notion of sustainable development in the field, giving the forest inhabitants alternatives for sustainable forest management that make it possible for them to enhance their livelihoods.

Networking at national, regional and international levels strengthens model forest capacities through the exchange of knowledge and experiences, as well as horizontal cooperation. The International Model Forest Network currently involves over forty sites around the world, while the Regional Network for Latin America and the Caribbean is growing.

Model forest is, therefore, a practical philosophy that offers tangible results for local sustainable development and poverty reduction, in line with the Millennium Development Goals.

**Key words:** Model forest, sustainable forest management, networking, collaborative management.

## INTRODUCCIÓN

El logro de un desarrollo forestal sustentable, equitativo e inclusivo, constituye uno de los principios rectores de las políticas y planes forestales nacionales. Este principio tiene fundamentos ambientales, jurídico – institucionales, sociales y económicos, de manera que su concreción exige un esfuerzo interdisciplinario e intersectorial.

Es útil recordar que el desarrollo sustentable, conceptualización superadora del mero crecimiento económico, es definido como aquél que satisface las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas (World Commission on Environment and Development, 1987). Este concepto deriva en lo que se conoce actualmente como la “triple línea de base”, en la cual lo ambiental se encuentra inextricablemente ligado a lo social y lo económico.

Las vinculaciones existentes entre la pobreza y la degradación ambiental han sido ampliamente reconocidas en los foros internacionales. Desde la perspectiva de las Naciones Unidas, la sustentabilidad ambiental es un requisito *sine qua non* para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio<sup>2</sup> vinculados a la pobreza, el analfabetismo, el hambre, la discriminación contra la mujer, la falta de acceso al agua potable y la degradación ambiental (UN Millennium Project, 2005). Ésta última es considerada como uno de los principales factores que subyace en la imposibilidad de satisfacer las necesidades básicas de las personas (UN Millennium Project, 2003).

Según FAO (2005), el área total de bosques del mundo es del orden de los cuatro mil millones de hectáreas. La deforestación, principalmente por cambio de uso del suelo para agricultura, es de unos trece millones de hectáreas por año; un ritmo alarmante. Sin contabilizar el valor de los bienes y servicios ambientales fuera del mercado que proveen los bosques, FAO (2005) ha valuado los productos forestales comercializados, madereros (rollizos) y no madereros<sup>3</sup>, en poco menos de setenta mil millones de dólares de EEUU para el año 2005, con una generación directa de empleo formal de diez millones de puestos de trabajo. A ello, debe añadirse que cientos de millones de personas habitan en áreas boscosas, de las cuales obtienen, entre otros bienes, sus medios de vida, medicinas, recreación, cultura y espiritualidad.

La gravedad de la situación de los bosques del mundo fue reconocida por la Asamblea de las Naciones Unidas en la Declaración del Milenio al acordar la intensificación de los esfuerzos colectivos en pro de la ordenación, conservación y el desarrollo sostenible de los bosques de todo tipo (Naciones Unidas, 2000).

El Objetivo 7 de Desarrollo del Milenio consiste en asegurar la sustentabilidad ambiental, a cuyo fin se postula como Meta 9 la integración de los principios del desarrollo sustentable a las políticas y programas nacionales, y la reversión de la pérdida de recursos ambientales. Entre otros indicadores, se contempla el porcentaje de cobertura forestal según

<sup>2</sup> Para mayor información sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio, puede visitarse el sitio de Internet: <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/>

<sup>3</sup> Se estima que una buena parte del comercio de productos forestales no madereros corresponde al mercado informal, por lo que no existe información precisa.

las estimaciones de la FAO (Indicador 25). Cabe destacar que la sustentabilidad de los ecosistemas boscosos ha sido tenida en cuenta en acuerdos tales como la Convención de las Naciones Unidas sobre la Biodiversidad, y procesos como el Foro de Bosques de las Naciones Unidas. Existe, además, una conciencia creciente acerca del valor significativo de los bienes y servicios ambientales proporcionados por los bosques.

La consecución de los objetivos y metas asumidos a través de los diversos procesos y convenios internacionales es posible a través de herramientas de planificación y gestión innovadoras, que aseguren un adecuado involucramiento y compromiso de los actores estratégicos.

Este trabajo tiene por objeto presentar el concepto de bosque modelo como aplicación concreta del nuevo paradigma de la planificación y gestión participativas en materia forestal, con una visión holística que adopta el paisaje como unidad de manejo; y las lecciones de la experiencia fruto de diez años de trabajo del Programa Nacional de Bosques Modelo en la República Argentina.

A tal fin, se analiza en primer lugar el concepto y filosofía de bosque modelo, sus orígenes y evolución en la República Argentina. Se exponen luego sus atributos, contrastándolos con una construcción conceptual acerca de la gobernanza, la participación y el "manejo adaptativo", "manejo comunitario" o "manejo colaborativo" de los recursos naturales. Finalmente, se presenta el trabajo en red en los niveles local, nacional, regional e internacional, las lecciones de la experiencia aprendidas y las perspectivas futuras de desarrollo.

## MARCO CONCEPTUAL

### Antecedentes

La necesidad de involucrar a los diversos actores sociales en los procesos de planificación y gestión ha sido señalada en diversas oportunidades a lo largo de la última mitad del Siglo XX. En efecto, ya en el año 1972 las Naciones Unidas reconocieron la importancia de la participación al expresar que los ciudadanos y comunidades, empresas e instituciones, debían aceptar sus responsabilidades y participar equitativamente en la labor común tendiente a la preservación y mejoramiento del ambiente (Naciones Unidas, 1972).

Sin embargo, hasta la década de 1990 esta participación era considerada un mero requisito adjetivo, el cual era cumplido habitualmente a través de la realización de actividades informativas. La participación y la consiguiente asunción de compromisos de los actores estratégicos, por tanto, no era considerada esencial en los procesos de desarrollo. Esta concepción redundaba en una cierta tendencia al abordaje de "lo ambiental" en forma separada de "lo social" y "lo económico"; lo cual se traducía en acciones inadecuadas para responder a la complejidad propia del sistema socioeconómico - ambiental.

En materia forestal, la Asamblea General de las Naciones Unidas ha reconocido que los gobiernos deberían promover la participación de todos los interesados en el desarrollo,

la ejecución y la planificación de la política forestal del país, y ofrecer oportunidades para esa participación (Naciones Unidas, 1992).

### Gobernanza y Participación para la Sustentabilidad

Graham *et al.* (2003) definen la gobernanza como un proceso mediante el cual las sociedades u organizaciones toman sus decisiones importantes, determinan a quién involucrarán en el proceso y cómo rendirán cuentas. Mayntz (2000), por su parte, expone tres acepciones para el vocablo "gobernanza", a saber: a) Un nuevo estilo de gobierno caracterizado por un mayor grado de cooperación y por la interacción entre el Estado y los actores no estatales al interior de las redes decisionales mixtas entre lo público y lo privado; b) Una modalidad distinta de coordinación de las acciones individuales, entendidas como formas primarias de construcción del orden social; y c) Una combinación de las dos definiciones precedentes.

La "buena gobernanza" debe reunir, de acuerdo al PNUD (1997), una serie de atributos para ser calificada como tal, a saber: i) Participación; ii) Estado de derecho; iii) Transparencia; iv) Comprensión; v) Orientación al consenso; vi) Equidad; vii) Efectividad y eficiencia; viii) Responsabilidad; y ix) Visión estratégica. Estas características son condensadas por Graham *et al.* (2003) en los principios básicos de legitimidad y voz, dirección, desempeño (*performance*), responsabilidad (*accountability*) y justicia.

Como se expresara precedentemente, en los últimos treinta años se ha verificado un cambio de paradigma en la elaboración e implementación de políticas, planes y programas, particularmente en relación con el desarrollo sustentable de los recursos naturales, el cual precisa tener como basamento la buena gobernanza si ha de tener algún éxito real y perdurable.

En efecto, el enfoque original de planificación fuertemente centralizada (*top-down*) ha dado paso paulatinamente a una visión de planificación y gestión participativos, en la cual los actores clave / usuarios del recurso ejercen un rol activo en la generación e implementación de las políticas (*bottom-up*). Este proceso ha sido acompañado con una creciente descentralización, con el consiguiente empoderamiento de los gobiernos locales.

La ODA (1995) concibe la participación de los actores sociales como un "proceso por el cual los *stakeholders*, aquellos con derechos (y por lo tanto responsabilidades) y/o intereses, juegan un rol activo en la toma de decisiones y en las consiguientes actividades que los afecten".

FAO/ECE/ILO (2000), en relación con los bosques, conceptualiza a la participación pública como "varias formas de involucramiento público directo en los que la gente, individualmente o a través de grupos organizados, puede intercambiar información, expresar opiniones y articular intereses, y tener el potencial de influenciar decisiones o resultados en temas forestales específicos". Se trata de un proceso inclusivo en relación con los intereses, voluntario respecto de la participación, que puede ser complementario de los requisitos



legales, es justo y transparente para todos los participantes, se basa en su buena fe y no garantiza, o predetermina, cuál será el resultado.

Meadowcroft (2003) define a la participación como "el camino a través del cual las diferencias, contradicciones y antagonismos se expresan, así como un medio a través del cual pueden ser gestionados". La participación efectiva de los actores sociales en los procesos de toma de decisión, desde la formulación de políticas públicas hasta su implementación, asegura la transparencia en el ejercicio del poder, así como la aplicabilidad de las políticas y su sustentabilidad.

Las estructuras de gobernanza construidas sobre la base de una efectiva participación de los actores estratégicos requiere, como mínimo, unos objetivos compartidos, confianza mutua y complementariedad (Levinger, B. y Mcleod, J., 2002). La construcción de estas alianzas requiere que los actores posean ciertas capacidades técnicas y organizacionales que, con cierta frecuencia, deben fortalecerse o crearse.

### **La Gestión Participativa de los Bosques**

En la concepción tradicional, los usuarios de los bienes y servicios forestales utilizan el recurso de forma extractiva para su propio beneficio, sin considerar cuestiones tales como la sustentabilidad o las necesidades de la comunidad a la que pertenecen. Este enfoque conduce al dictado de regulaciones públicas restrictivas tendientes a crear instituciones y mecanismos enfocados al uso racional de los recursos, las cuales en muchos casos son aplicadas en forma parcial o deficiente, con lo cual no se alcanza el fin propuesto.

Paralelamente a esto, existen experiencias en las cuales las comunidades se organizan y son capaces de manejar sus recursos forestales de manera sostenible. La sistematización de experiencias de gestión comunitaria ha llevado a Ostrom (1999) y Anderies *et al.* (2004) a identificar una serie de atributos del recurso y de los usuarios que es preciso considerar en la construcción de estructuras de gobernanza duraderas, a saber:

#### **a. Atributos del Recurso**

- i. **Factibilidad de Mejoramiento:** El recurso no debería estar en un estado de deterioro tal que fuera inútil organizarse, o ser tan sub-utilizado que el organizarse no generara ventajas perceptibles.
- ii. **Indicadores:** Debería ser posible disponer de información confiable y válida sobre la condición general del recurso, a un costo razonable.
- iii. **Predictibilidad:** Debería ser posible estimar la disponibilidad de unidades del recurso.
- iv. **Extensión Espacial:** El área involucrada debería ser lo suficientemente pequeña, dada la tecnología de transporte y comunicación empleada localmente, como para que los usuarios pudieran desarrollar un conocimiento preciso sobre sus límites externos y sus microambientes internos.

## b. Atributos de los Usuarios

- i. **Importancia:** Los usuarios deberían depender en gran medida del recurso para su subsistencia u otras cuestiones valiosas para ellos.
- ii. **Entendimiento Común:** Los usuarios deberían tener una imagen compartida del recurso (es decir, de los atributos enumerados anteriormente) y acerca del modo en que sus acciones afectan a unos y otros y al recurso.
- iii. **Tasa de Descuento:** Los usuarios deberían tener una tasa de descuento suficientemente baja en relación con los futuros beneficios a alcanzar con el recurso.
- iv. **Distribución de Intereses:** Los usuarios con activos económicos y políticos altos deberían estar afectados por el patrón de uso actual.
- v. **Confianza:** Los usuarios deberían confiar mutuamente en que mantendrán sus promesas y deberían relacionarse entre sí con reciprocidad.
- vi. **Autonomía:** Los usuarios deberían poder determinar reglas de acceso y cosecha o extracción del recurso, respetadas por las autoridades externas.
- vii. **Experiencia Organizacional Previa:** Los usuarios deberían poseer habilidades mínimas para organizarse a través de su participación en otras asociaciones, o mediante el aprendizaje acerca de cómo se han organizado grupos vecinos.

El grado de verificación de estos atributos, según Ostrom (1999) y Anderies *et al.* (2004), determina la factibilidad de la "auto organización" de las comunidades para el gestión participativa. Ostrom (1999) señala que se está en presencia de una estructura organizacional de "autogobierno" del bosque cuando los actores clave se involucran a lo largo del tiempo en el desarrollo y adaptación de reglas, en un contexto de elección colectiva, que contemplan la inclusión o exclusión de participantes, las estrategias de apropiación, obligaciones de los participantes, monitoreo y sanciones, y resolución de conflictos.

## LA EXPERIENCIA ARGENTINA EN MATERIA DE BOSQUES MODELO

### Orígenes y Filosofía de los Bosques modelo

#### Surgimiento del Concepto de Bosques Modelo

Las actividades forestoindustriales constituyen una parte importante de la economía canadiense<sup>4</sup>, más allá del valor intrínseco de los bienes y servicios ambientales suministrados por los bosques. Hacia el año 1991, los crecientes conflictos suscitados entre las empresas concesionarias forestales canadienses<sup>5</sup> y las comunidades residentes en las zonas boscosas motivaron al Gobierno de Canadá a buscar una alternativa innovadora para manejar estas

<sup>4</sup> Según Wilson (2005), el sector forestal representa un tres por ciento del PBI canadiense.

<sup>5</sup> En Canadá, el 93% de los bosques son de propiedad pública, "tierras de la Corona" (Wilson, 2005).

tensiones. Paralelamente, en el ámbito internacional, existía un creciente interés por la preocupante situación de los bosques, que hacía que el concepto de manejo forestal sustentable tomara un mayor impulso y suscitara adhesiones entre los organismos multilaterales y las agencias de cooperación.

Ante esta realidad, los instrumentos tradicionales de política resultaban insuficientes para asegurar la sustentabilidad de los ecosistemas forestales. Por otra parte, era necesario dar respuesta a los reclamos de transparencia en la gestión pública y de una mayor participación pública en los procesos de toma de decisiones.

El Servicio Forestal Canadiense se encontró ante un desafío que implicaba al mismo tiempo una gran oportunidad para desarrollar un nuevo modelo de planificación y gestión, basado en una plataforma bio-regional adecuada para ganar experiencias en el desarrollo forestal sustentable. Con esta visión, el Consejo Nacional Asesor en Bosques Modelo lanzó en 1991 una convocatoria a concurso de iniciativas. Entre las cincuenta propuestas presentadas, se seleccionó diez, las cuales representaban a las distintas regiones forestales de Canadá.

En junio de 1992 quedó establecido el Programa Canadiense de Bosques Modelo<sup>6</sup>. Ese mismo año, Canadá presentó su iniciativa en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo y anunció su intención de difundir el concepto hacia otros países. La Red Canadiense de Bosques Modelo cuenta actualmente con once bosques modelo, los cuales han ampliado el alcance de su trabajo en red para colaborar con sus pares de otros países<sup>7</sup>.

### Filosofía y Atributos de los Bosques Modelo

El bosque modelo ha sido definido en la República Argentina<sup>8</sup> como una "asociación de voluntades que en consenso planifiquen y gestionen modelos de desarrollo sustentable para ecosistemas boscosos. Este modelo debe elevar el nivel y calidad de vida de las comunidades o asentamientos humanos marginados o de bajos recursos, como pauta fundamental" (SRIBM/SRNyAH-DB/PRODIA, 1996).

La filosofía subyacente a esta definición es la de la planificación y gestión participativas, construida sobre la base de la generación de alianzas estratégicas multisectoriales. A partir de estas alianzas, conformadas por los actores clave de los sectores público, privado, sociedad civil y academia, los bosques modelo procuran avanzar hacia la consecución de una visión compartida, que integre objetivos comunes con el fin último de materializar el desarrollo forestal sustentable en sus comunidades.

Los bosques modelo también pueden ser vistos como procesos de planificación y gestión en red. Desde esta óptica, puede identificarse interacciones horizontales y verticales

<sup>6</sup> Para mayor información, visitar el sitio: [http://www.nrcan.gc.ca/cfs/national/what-quoi/modelforest\\_e.html#what](http://www.nrcan.gc.ca/cfs/national/what-quoi/modelforest_e.html#what).

<sup>7</sup> Para más información, puede visitarse el sitio web: <http://www.modelforest.net>.

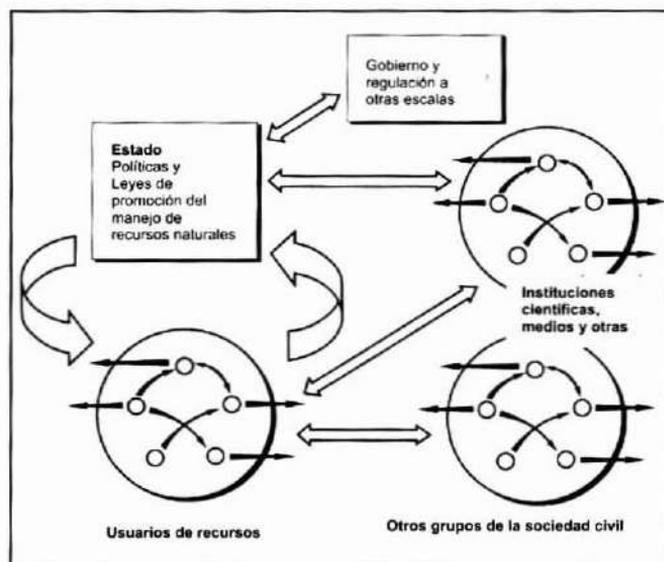
<sup>8</sup> El Programa Canadiense de Bosques Modelo los define como lugares en los cuales se desarrollan, prueban y comparten prácticas de manejo forestal sustentable (Canada's Model Forest Program, 2003; Canadian Model Forest Network, 2006)

propias del manejo adaptativo. En la Figura N° 1 son esquematizadas las interacciones entre los distintos niveles y actores. En relación con las interacciones verticales, a diferencia del modelo tradicional (unidireccional), que únicamente plantea flujos de información de arriba hacia abajo (*top down*), los bosques modelo también promueven los flujos de abajo hacia arriba (*bottom up*). En cuanto a las interacciones horizontales, los bosques modelo son estructuras de gobernanza en red que estimulan estos intercambios entre sus miembros; entre los bosques modelo y otros miembros de la comunidad local; con otros bosques modelo (redes en sí mismos); y con otras organizaciones de la sociedad civil, del sector privado e instituciones del sistema científico – tecnológico. De este modo, se producen importantes flujos de información que posibilitan el aprendizaje sistémico, con el intercambio de experiencias y mejores prácticas.

Estas redes, alianzas o procesos adaptativos de planificación y gestión que constituyen los bosques modelo, presentan una diversidad muy amplia en relación con el modo en que utilizan el bosque a través del tiempo, los tipos de asentamiento, la legislación, las costumbres y los recursos disponibles en cada sitio (Red Internacional de Bosques Modelo, 2004). Sin embargo, todos los bosques modelo del mundo, actualmente unos cuarenta, comparten seis atributos que son fundamentales para su éxito, a saber:

- i) Asociación.
- ii) Compromiso con el manejo forestal sustentable.
- iii) Base territorial lo suficientemente amplia como para incorporar los usos y valores forestales del área.
- iv) Gama de actividades que reflejen los valores de los recursos forestales y aborden las necesidades de la comunidad.
- v) Estructura organizacional y de dirección que posibilite el trabajo conjunto de socios con valores diferentes.
- vi) Creación de una base de conocimiento e intercambio a través de las redes de bosques modelo (nacional, regional e internacional).

Resulta interesante puntualizar aquí que varios de estos atributos son consistentes con aquéllos identificados por Ostrom (1999) y Anderies *et al.* (2004) para el diseño de instituciones duraderas para el manejo de recursos naturales.



(Fuente: Adger et al., 2005).

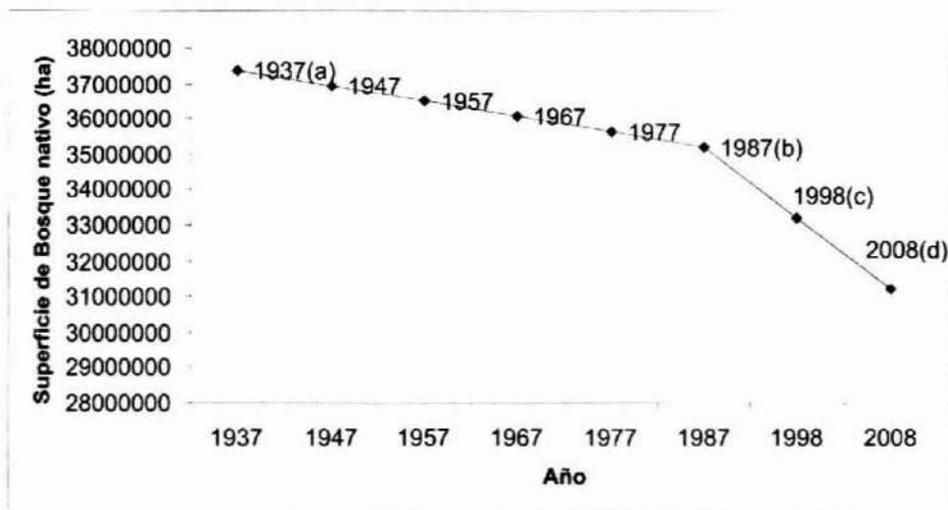
Figura N° 1

VINCULACIONES TRANSVERSALES ENTRE ESCALAS (CROSS-SCALE) PRESENTES EN LOS BOSQUES MODELO.

## Los Bosques Modelo en la República Argentina

### Génesis del Proceso

En las últimas décadas, la República Argentina ha venido soportando fuertes procesos de deforestación, degradación y fragmentación de sus masas forestales, principalmente a causa de la expansión de la frontera agrícola y la falta de ordenamiento territorial (FAO, 2005b). La Figura N° 2 muestra la evolución de la superficie de bosque nativo en el país.



(Fuente: FAO, 2005b y (a) Censo Nacional Agropecuario 1937; (b) Estimaciones del Instituto Forestal Nacional; (c) Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable – Dirección de Bosques - Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal; (d) Estimaciones de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable – Dirección de Bosques - Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal)

**Figura N° 2**  
**SUPERFICIE DE BOSQUE NATIVO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA**

Ante el escaso resultado obtenido a través de la aplicación del paradigma tradicional de planificación, la entonces Dirección de Recursos Forestales Nativos<sup>3</sup> identificó el concepto de bosque modelo como una oportunidad para enfrentar la problemática compleja de los bosques nativos a través de una herramienta innovadora, que posibilitara generar cambios estructurales tendientes a concretar el desarrollo sustentable.

Fue así como en el año 1996, con el apoyo de la Red Internacional de Bosques Modelo (RIBM), la autoridad ambiental nacional, a través de la Dirección de Recursos Forestales Nativos, convocó al "Primer Taller para la Red de Bosques Modelo en la República Argentina" (La Cumbre, Provincia de Córdoba), con amplia participación de representantes de todas las regiones forestales del país. En el transcurso del taller se presentó la filosofía de bosque modelo y las experiencias de bosques modelo de Canadá y México, y se discutieron cuestiones vinculadas al manejo forestal sustentable y la aplicabilidad de esta nueva herramienta al contexto argentino.

Además de la construcción participativa de la definición argentina de bosque modelo presentada más arriba, se acordó una serie de criterios para la selección de sitios. Estos criterios, acogidos en la "Guía para la Formulación de Propuestas de Bosques Modelo en la República Argentina" (SAyDS, 1996), se orientan a asegurar la sustentabilidad de las iniciativas:

<sup>3</sup> Actual Dirección de Bosques de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) ([www.medioambiente.gov.ar/bosques](http://www.medioambiente.gov.ar/bosques)).

- i) Grado de representatividad dentro de la bioregión.
- ii) Presencia de la mayor diversidad de ecosistemas.
- iii) Inclusión de porciones significativas de ecosistemas recuperables.
- iv) Contribución prioritaria al mantenimiento de la diversidad biológica y cultural de la región.
- v) Seguridad del marco jurídico.
- vi) Dependencia de los pobladores del recurso bosque.
- vii) Base realista de desarrollo económico.
- viii) Posibilidad de involucrar poblaciones marginadas (aborígenes, criollos campesinos).
- ix) Participación de los actores en el diseño del programa.
- x) Compromiso de los gobiernos provinciales y municipales.
- xi) Presencia de organismos capaces de facilitar la ejecución y gestión del programa.
- xii) Disponibilidad de apoyo de un sistema científico-tecnológico regional.

El compromiso de la República Argentina quedó plasmado en una Carta de Intención firmada por la entonces Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano de la Nación y la Red Internacional de Bosques Modelo en el mes de mayo de 1996.

A partir de dicha fecha, se estableció en la órbita de la actual Dirección de Bosques el Programa Nacional de Bosques Modelo<sup>10</sup> (PNBM), cuya misión es fomentar el manejo sustentable de los ecosistemas forestales basado en las alianzas estratégicas entre los actores clave y el trabajo en red a fin de contribuir al progreso de las comunidades involucradas, atendiendo a la equidad social, las necesidades locales y las preocupaciones globales. En el año 2001 se conformó la Red Nacional de Bosques Modelo en la República Argentina (RNBM).

#### Algunas Lecciones de la Experiencia de los Bosques Modelo Argentinos

---

<sup>10</sup> Para mayor información, visitar la página web: [www.medioambiente.gov.ar/bosques\\_modelo](http://www.medioambiente.gov.ar/bosques_modelo).

En la actualidad la RNBM cuenta con cuatro bosques modelo activos, con distintos niveles de avance, más un futuro quinto bosque modelo en proceso de conformación. Todos los bosques modelo argentinos se originaron a partir del interés de los actores locales, quienes identificaron al bosque modelo como un instrumento idóneo para el desarrollo forestal sustentable local y solicitaron asistencia al PNBM.

La experiencia del PNBM indica que no todas las iniciativas culminan con la creación de un bosque modelo. En efecto, en varias oportunidades ha ocurrido que las propuestas fueron abandonadas en distintos grados de avance. Las causas fueron diversas, e incluyeron la falta de adecuación de las propuestas a los atributos de los bosques modelo, la confusión entre el concepto de bosque modelo y la creación de una organización no gubernamental ambientalista, el insuficiente capital social, los cambios políticos radicales, la falta de apoyo de las autoridades locales, la falta de financiamiento mínimo. El Cuadro N°1 presenta los bosques modelo activos, resultado de los procesos exitosos.

**Cuadro N° 1**  
**BOSQUES MODELO INTEGRANTES DE LA RED NACIONAL DE BOSQUES MODELO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA**

Nombre	Año de inicio	Año de aprobación	Superficie (ha)	Región forestal
Bosque Modelo Formoseño	1996	2001	800.000	Parque Chaqueño
Bosque Modelo Futaleufú	1996	1998	736.000	Bosque Andino Patagónico
Bosque Modelo Jujuy	1999	2002	130.000	Selva Tucumano Boliviana
Bosque Modelo Norte del Neuquén	2001	--	Est. 1.000.000	Bosque Andino Patagónico

Como puede observarse en el cuadro precedente, la naturaleza participativa del proceso de conformación de los bosques modelo ha implicado, en la República Argentina, procesos más o menos largos de desarrollo de estas verdaderas redes locales. Esto se explica fácilmente si se tiene en cuenta los intereses muchas veces divergentes de los actores involucrados, quienes a través de herramientas de diagnóstico y planificación participativos deben construir acuerdos sobre una visión, objetivos y metas compartidos.

A simple vista, podría objetarse que este proceso inicial insume unos costos de transacción<sup>11</sup> mayores que los planes, programas y proyectos diseñados según el viejo paradigma de arriba hacia abajo (*top down*). Sin embargo, una vez superados estos costos iniciales (*ex ante*), correspondientes a la elaboración y presentación de la propuesta de bosque modelo, se espera que los costos asociados al manejo sustentable del sistema y su monitoreo (*ex post*) sean inferiores, tal como surge de la experiencia de la Red Canadiense (Canadian Model Forest Network, 2006), que ostenta logros impactantes en este sentido.

<sup>11</sup> Kuperan et al. (s/f), siguiendo a Williamson (1985), clasifica los costos de transacción involucrados en el manejo colaborativo en: i) costos de información; ii) costos de toma de decisión; iii) costos operativos colectivos; donde los dos primeros son costos *ex ante* y el último costo es *ex post*.

El grado de compromiso de los integrantes de los bosques modelo argentinos a lo largo de los años, así como la amplia gama de actores representados en sus Directorios, ha posibilitado su subsistencia a pesar de los cambios políticos y las crisis económicas. Esto demuestra la importancia de la construcción de redes de confianza, que consolidan el capital social y afianzan la arquitectura de gobernanza, esencial para la consecución de los objetivos de desarrollo planteados.

Una característica particularmente relevante de los bosques modelo es la inclusión social. En efecto, los bosques modelo posibilitan que los grupos vulnerables, las mujeres y los pueblos originarios sean protagonistas de los procesos de desarrollo local. Los bosques modelo argentinos han ejecutado con éxito proyectos promovidos por organizaciones representativas de estos grupos<sup>12</sup>, con acciones en materia de capacitación, educación formal y no formal, fortalecimiento al desarrollo productivo y rescate y puesta en valor de conocimientos tradicionales.

Los bosques modelo también han generado experiencias valiosas en materia de fortalecimiento de la gobernanza y el manejo de conflictos, posibilitando que grupos tradicionalmente antagónicos trabajaran juntos en emprendimientos productivos sustentables, tales como los proyectos vinculados con la actividad apícola y la elaboración de artesanías en el ámbito del Bosque Modelo Formoseño.

Como se desprende de este trabajo, el enfoque de bosque modelo en la República Argentina tiene un componente de desarrollo humano más acentuado que en el caso canadiense. Ello se explica en buena medida por la diversa situación socioeconómica existente en el país y las ya comentadas vinculaciones entre la pobreza y la degradación ambiental, todo lo cual propende a jerarquizar el rol de los habitantes del bosque en el manejo forestal sustentable.

Los bosques modelo argentinos han alcanzado un grado de consolidación suficiente para posibilitar la elaboración e implementación de criterios e indicadores (C&I) locales de manejo forestal sustentable, consistentes con el compromiso asumido por el país ante el Proceso de Montreal. Estos C&I posibilitarán obtener información de utilidad para monitorear los avances alcanzados por los bosques modelo en la materia. Cabe destacar que en el ámbito del Bosque Modelo Futaleufú se aplican C&I para la evaluación de proyectos de aprovechamiento forestal.

Entre los bosques modelo argentinos ha comenzado a tomar impulso la posibilidad de instrumentar sistemas de pagos por servicios ambientales (PSA), los cuales se consideran útiles para contribuir al financiamiento de ciertas actividades de conservación y restauración de los bosques nativos. En respuesta a esta demanda de construcción de capacidades, la Red Regional de Bosques Modelo para América Latina y el Caribe (LAC-Net) ha realizado en Argentina un curso internacional sobre PSA, con participación activa de los representantes de los bosques modelo.

---

<sup>12</sup> En la página web del PNBM puede encontrarse más información sobre estas iniciativas, que incluyen proyectos tales como capacitación y producción sustentable con aborígenes de las etnias toba y wichi en el Bosque Modelo Formoseño; capacitación y desarrollo de actividades productivas con mujeres campesinas, jóvenes y discapacitados del Bosque Modelo Jujuy.

En relación con la participación del sistema científico – tecnológico en los bosques modelo, debe resaltarse que ella ha demostrado ser muy valiosa tanto para apoyar técnicamente y contribuir a perfeccionar las iniciativas locales, como para proponer mejores prácticas e innovaciones para el manejo forestal. Asimismo, las universidades han apoyado la sistematización de experiencias y conocimientos ancestrales.

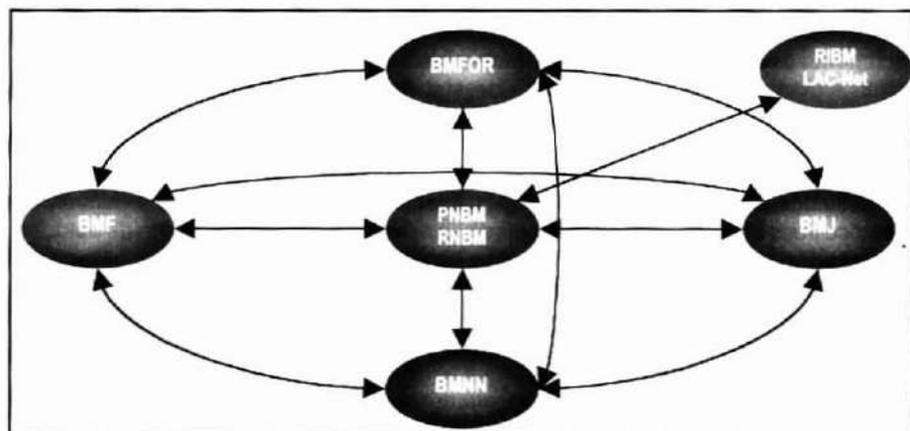
Al igual que en el caso canadiense, los bosques modelo argentinos, al menos en esta etapa de su desarrollo, requieren del apoyo del Gobierno Nacional para su desenvolvimiento. Las restricciones presupuestarias existentes han dificultado la materialización de estos aportes en el grado óptimo, sin perjuicio de lo cual se ha reforzado este apoyo en los últimos tiempos mediante la contratación de los gerentes de los bosques modelo. Se anticipa que esta medida actuará como catalizador para la consolidación de los bosques modelo argentinos, contribuyendo a dinamizar el trabajo en red *intra e inter* bosques modelo.

## El Trabajo en Red

La RNBM, creada en 2001, es coordinada por el PNBM y está integrada por los cuatro bosques modelo activos, tal como se señalara precedentemente. Es la única Red Nacional en operaciones en América Latina y el Caribe, y una de las pocas existentes fuera de Canadá<sup>13</sup>. La Figura N° 3 muestra la estructura organizacional de la RNBM. Sus funciones son:

- i) Promover el intercambio fluido de conocimientos y experiencias en materia de manejo forestal sustentable y aspectos conexos entre los Bosques Modelo argentinos y extranjeros.
- ii) Desarrollar criterios e indicadores de manejo forestal sustentable para su implementación en los Bosques Modelo argentinos, considerando los compromisos internacionales del país.
- iii) Fomentar la cooperación técnica con otras Redes Nacionales, la Red Regional de Bosques Modelo para América Latina y el Caribe y la Red Internacional de Bosques Modelo.
- iv) Impulsar la ejecución de acciones conjuntas, en especial las relativas al manejo forestal sustentable.

<sup>13</sup> En los últimos tiempos se verifica una tendencia a la creación de programas y redes nacionales, como en el caso de Rusia y Chile.



**Figura N° 3**  
**ESQUEMA ORGANIZACIONAL DE LA RED NACIONAL DE BOSQUES MODELO EN LA**  
**REPÚBLICA ARGENTINA**

La RNBM cuenta con un foro electrónico basado en una plataforma de Internet para las comunicaciones entre los integrantes de los bosques modelo, con llegada a unos cien representantes de instituciones de los sectores público local, provincial y nacional, el sector privado, la sociedad civil y el sector científico - tecnológico. A través del foro electrónico, el PNBM y los bosques modelo intercambian información y noticias sobre sus iniciativas en marcha, oportunidades de capacitación y cooperación, así como publicaciones electrónicas y boletines de noticias de organizaciones de cooperación internacionales.

Los bosques modelo argentinos participan, asimismo, en las actividades desarrolladas por la Red Regional de Bosques Modelo para América Latina y el Caribe (LAC-Net). LAC-Net brinda importantes servicios que incluyen la facilitación de intercambios tanto con otros bosques modelo de la región como con la RIBM, la cooperación para la formación de capacidades a través de la provisión de becas y la realización de cursos, y la asistencia en la búsqueda de donantes para la concreción de proyectos en red.

Una mención especial merece la iniciativa de los bosques modelo de la Patagonia argentina y chilena, quienes en el marco del Protocolo Adicional Específico en Materia Forestal ya han realizado dos reuniones y han acordado temas de interés para el desarrollo de acciones conjuntas. Estos intercambios son apoyados por el PNBM e integran la agenda de las reuniones de la Subcomisión de Medio Ambiente Argentina – Chile, creada en el marco del Tratado sobre Medio Ambiente entre ambos países.

## CONCLUSIONES

La planificación y gestión participativas constituyen herramientas clave para avanzar hacia el desarrollo sustentable. En efecto, el abordaje sistémico de la problemática del manejo sustentable de los ecosistemas forestales resulta insoslayable dada la complejidad de los procesos involucrados.

Las estructuras de gobernanza en red están demostrando ser superiores en eficiencia y eficacia a los esquemas tradicionales con sus flujos de arriba hacia abajo (*top down*). Los bosques modelo, verdaderas redes de aprendizaje y manejo adaptativo, constituyen instrumentos valiosos para la gestión, toda vez que reflejan la riqueza y diversidad de actores, intereses y ambientes implicados, a la vez que proporcionan una plataforma de trabajo (paisaje) adecuada para la experimentación y la innovación.

Este modelo de planificación y gestión requiere todavía un mayor desarrollo en la Argentina, pese a lo cual ya ha producido excelentes resultados y experiencias en una multiplicidad de temas que están siendo compartidas a través de LAC-Net y la RIBM.

## REFERENCIAS

- Adger, W.N., Brown, K., Tompkins, E.L., 2005.** The Political Economy of Cross-scale Networks in Resource Co-management. *Ecology and Society* 10(2):9 [on-line] <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art9/> (fecha de consulta: 22/10/2005)
- Anderies, J.M., Janssen, M.A., Ostrom, E., 2004.** A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective. *Ecology and Society* 9(1):18 [on-line] <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18/> (fecha de consulta: 22/10/2005).
- Canada's Model Forest Program, 2003.** Advancing Sustainable Forest Management from the Ground Up", Canadian Forest Service, Ottawa, Canadá.
- Canadian Model Forest Network, 2006.** Achievements. Natural Resources Canada, Ottawa, Canadá.
- FAO, 2005.** Global Forest Resources Assessment 2005 – Progress towards Sustainable Forest Management. FAO Forestry Paper 147. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- FAO, 2005b.** Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005 – Argentina – Informe Nacional. FRA 2005 - Informe Nacional 016. Departamento Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- FAO/ECE/ILO, 2000.** Public Participation in Forestry in Europe and North America: Report of the Team of Specialists on Participation in Forestry. WP 163. Sectorial Activities Department, International Labour Office, Ginebra, Suiza.
- Graham, J., Amos, B. and Plumptre, T., 2003.** Principles for Good Governance in the 21st Century". Policy Brief No. 15, Institute on Governance, Canadá.

**Kuperan, K., Pommeroy, R.S., Mustapha, N., Abdullah, R., Genio, E., and Salamanca, A., sin fecha.** Measuring Transaction Costs of Fisheries Co-Management. [on line] <http://www.indiana.edu/~iascp/Drafts/kuperan.pdf> (fecha de consulta: 29/10/2005).

**Levinger, B. and Mcleod, J., 2002.** Togetherness: How Governments, Corporations and NGOs Partner to Support Sustainable Development in Latin America. Thematic Studies Series, Inter American Foundation, Arlington, Estados Unidos de Norteamérica.

**Mayntz, R., 2000.** Nuevos Desafíos de la Teoría de Governance. *Revista Instituciones y Desarrollo* 7:1-11.

**Meadowcroft, J., 2003.** Participación y Estrategias para el Desarrollo Sostenible. *Revista Instituciones y Desarrollo* 14/15:123-138.

**Naciones Unidas, 1972.** Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. Disponible on-line en: <http://www.unep.org/Documents.multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503&I=en> (fecha de consulta: 17/12/2005).

**Naciones Unidas, 1992.** Declaración Autorizada, sin Fuerza Jurídica Obligatoria, de Principios para un Consenso Mundial respecto de la Ordenación, la Conservación y el Desarrollo Sostenible de los Bosques de Todo Tipo, en Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo, Asamblea General A/CONF.151/26 (Vol. III). Disponible on-line en: <http://www.un.org/documents/ga/conf151/spanish/aconf15126-3annex3s.htm> (fecha de consulta: 17/12/2005).

**Naciones Unidas, 2000.** Declaración del Milenio. Asamblea General A/RES/55/2. Disponible on-line en: <http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N00/559/54/PDF/N0055954.pdf?OpenElement> (fecha de consulta: 22/10/2005).

**ODA, 1995.** Note on Enhancing Stakeholder Participation in Aid Activities. Social Development Department, Overseas Development Agency, Londres, Reino Unido.

**Ostrom, E., 1999.** Self-Governance and Forest Resources. CIFOR Occasional Paper No. 20, CIFOR, Jakarta, Indonesia.

**PNUD, 1997.** Governance and Sustainable Human Development – A UNDP Policy Document. On-line en: <http://mirror.undp.org/magnet/policy/> (fecha de consulta: 05/07/2006).

**Red Internacional de Bosques Modelo, 2004.** Sembrando las Semillas para un Futuro Sustentable. IDRC, Ottawa, Canadá.

**SAyDS, 1996.** Guía para la Formulación de Propuestas de Bosques Modelo en la República Argentina. Dirección de Bosques - Programa Nacional de Bosques Modelo, Buenos Aires, Argentina.

**SRIBM/SRNYAH-DB/PRODIA, 1996.** Informe del Primer Taller para la Red de Bosques Modelo en la República Argentina, Secretaría Internacional de Bosques Modelo, Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano – Dirección de Recursos Forestales Nativos, Programa de Desarrollo Institucional Ambiental SRNYAH/BID, Buenos Aires, Argentina.

**Williamson, O.E., 1985.** The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting. Macmillan, Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica. Citado en Kuperan et al. (s/f).

**Wilson, B., 2005.** Conferencia sobre Oportunidades para la Región en Materia Forestal: Soluciones Estratégicas – La Experiencia Canadiense, citada en *Canadienses Promueven Articulación Técnica y Comercial con Argentina*, *Argentina Forestal.com* 24:12-14.

**World Commission on Environment and Development, 1987.** *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.

**UN Millennium Project, 2003.** Background Paper of the Task Force on Environmental Sustainability. On-line: <http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N00/559/54/PDF/N0055954.pdf?OpenElement> (fecha de consulta: 05/07/2006).

**UN Millennium Project, 2005.** *Environment and Human Well-being: A Practical Strategy*. Versión resumida del informe de la Task Force on Environmental Sustainability. The Earth Institute at Columbia University, Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.





---

## ¿PUEDEN LAS PLANTACIONES FORESTALES ACTUAR COMO CATALIZADORAS DE LA SUCESIÓN SECUNDARIA?

Florencia Montagnini<sup>1</sup>

### RESÚMEN

Estudios de diversidad vegetal bajo cobertura de especies forestales en varias regiones del mundo sugieren que las plantaciones presentan un buen potencial para acelerar los procesos de recuperación de la biodiversidad. La falta de agentes dispersores de semillas puede ser un impedimento importante para la regeneración de bosques en áreas de pastos abandonados. Las plantaciones forestales pueden facilitar la sucesión secundaria atrayendo agentes dispersores de semillas de bosques cercanos y creando un microclima que suprime la vegetación agresiva y favorece la germinación y crecimiento de especies forestales.

Las plantaciones mixtas proveen productos más diversos que las plantaciones puras, disminuyendo los riesgos de mercado y protegiendo contra el ataque de ciertas plagas. En este trabajo se presenta resultados de estudios sobre la recuperación de la biodiversidad en terrenos de pastos abandonados que fueron plantados con especies forestales nativas, en parcelas puras y mixtas ubicadas en la Estación Biológica La Selva, región húmeda del Atlántico de Costa Rica. A los siete años de edad, se encontró mayor abundancia de individuos de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones puras de *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia ferruginea*. Las plantaciones mixtas también tuvieron buenos resultados, comparables con los de las plantaciones puras de las especies que más favorecieron la regeneración natural arbórea. En contraste, las áreas de parcelas control de pastos abandonados, donde no se plantó árboles, mantuvieron vegetación baja dominada por pastos y helechos.

Se realizó posteriormente (12-13 años de edad) un estudio de lluvia de semillas y sus agentes dispersores en las mismas plantaciones experimentales. La mayor abundancia de semillas se encontró en parcelas puras de *Balizia elegans* (5.522) seguido de *Dipteryx panamensis* (2.263), *Jacaranda copaia* (2.091) y la menor abundancia se dio en *Calophyllum brasiliense* (56) y parcelas de regeneración natural. La mayor densidad de riqueza de especies de semillas se dio en *Jacaranda copaia* y *Hyeronima alchorneoides*, y la menor en la regeneración natural. Los tratamientos de regeneración natural presentaron más semillas dispersadas por viento que los tratamientos de plantaciones donde los dispersores fueron

---

<sup>1</sup>Yale University School of Forestry and Environmental Studies, 370 Prospect Street, New Haven, CT 06511, USA, email: florencia.montagnini@yale.edu



principalmente las aves y los mamíferos. Las especies de semillas más abundante fueron *Miconia* spp. (14.492), *Psychotria bracheata* (2.363), y especies de familia *Poaceae* (1.346), todas de estados tempranos de sucesión.

Las diferentes especies de las plantaciones arbóreas generan condiciones distintas de sombra y acumulación de hojarasca, determinantes de la abundancia de individuos reclutados y sobrevivientes a adultos. La selección de las especies promotoras de la restauración del bosque influirá en el porcentaje de individuos que permanecerán en cada etapa de la regeneración (colonización, establecimiento, crecimiento, sobrevivencia). Los resultados sugieren que las plantaciones pueden servir para catalizar o acelerar la sucesión natural, pero aún es incierto hasta qué punto la composición de especies se asemeja a los bosques maduros de la región. El presente estudio se realizó en plantaciones cuya edad de corte se estima en 15-25 años dependiendo de las especies. Estudios posteriores pueden verificar si la composición de especies favorecidas por las plantaciones es similar al de estados maduros de la sucesión natural en la región.

**Palabras claves:** Plantaciones, bosques naturales, regeneración natural.

## CAN TREE PLANTATIONS SERVE AS CATALIZERS OF SECONDARY FOREST SUCCESSION?

### SUMMARY

Several studies of plant regeneration in the understory of plantations worldwide suggest that plantations can contribute to catalize or accelerate processes of recovery of biodiversity in degraded lands. Lack of seed dispersal can be an important obstacle to natural forest regeneration in degraded pastures. Tree plantations can facilitate secondary forest succession by ameliorating microsite conditions, suppressing aggressive vegetation, attracting seed dispersal agents from nearby forests, and favoring germination and growth of tree seedlings. Mixed plantations provide more diverse products than pure plantations, decreasing market risks and protecting against pests.

In this article, results are shown of studies on recovery of biodiversity in areas of abandoned pastures that were planted with native tree species in pure and mixed plantations at La Selva Biological Station in the humid lowlands of Costa Rica. At seven years of age, the greatest abundance of individuals of tree species was found in the understory of pure plantations of *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia ferruginea*. The mixed plantations also gave good results, comparable to those of the most successful species in pure plots. In contrast, the control areas of abandoned grasses with no trees kept a low stature vegetation dominated by grasses and ferns.

A study of seed rain and their dispersal agents conducted later (12-13 years of age) in the same experimental setting showed that pure plantations of *Balizia elegans* (5,522), *Dipteryx panamensis* (2,263), and *Jacaranda copaia* (2,091) had the greatest total seed abundance; treatments with the least total seed abundance were *Calophyllum brasiliense* (56), and non-planted abandoned pasture control. Plantations of *Jacaranda copaia* and *Hyeronima alchorneoides* had the greatest seed species richness density, while the lowest seed species richness was found in the control treatments. The natural regeneration plots had more seeds dispersed by wind, while in the plantations the most important dispersal agents were birds and mammals. The most abundant seeds were those of *Miconia* spp. (14,492), *Psychotria bracheata* (2,363), and the *Poaceae* family (1,346), all species from early successional stages.

The different plantation species generate different conditions of shade and accumulation of leaf litter, which can determine the abundance of individuals that are recruited and those that survive to adults. The selection of species to be used to promote forest restoration influences the proportion of individuals that will persist in each stage of regeneration (colonization, establishment, growth, survival). The results suggest that native species plantations can accelerate or catalyze secondary forest succession, but it is still unknown as to what point they can promote the establishment of species of more advanced stages of succession. The current study took place in plantations whose rotation cycle is estimated to be 15-25 years depending on the species. Subsequent studies can verify whether the forest species composition favored by plantations approximates more mature stages of natural forest succession in the region.

**Key words:** Plantations, native forests, regeneration.

## INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales pueden brindar múltiples beneficios tales como producción de madera, protección del suelo, captura de carbono atmosférico y protección de cuencas hidrográficas. Además, el uso de plantaciones con especies nativas mono-específicas o mixtas puede desempeñar un papel importante en la recuperación de suelos y la estructura y diversidad florística de ecosistemas tropicales degradados (Lugo, 1992; Montagnini y Sancho, 1990a, 1990b; Guariguata *et al.*, 1995; Parrotta, 1992, 1995; Parrotta *et al.*, 1997).

Los principales factores limitantes para la regeneración en pastizales abandonados en regiones de bosque húmedo tropical pueden incluir escasez de nutrientes, niveles altos de compactación del suelo, falta o exceso de humedad en el suelo, elevada radiación solar y competencia intra e interespecífica (Nepstad *et al.*, 1991). Además, otro elemento limitante crítico es la disponibilidad de semillas, especialmente en sitios cuyo tamaño o distancia de fuentes semilleras pueda limitar la dispersión de propágulos.

Numerosos estudios realizados en plantaciones de especies nativas y exóticas han demostrado que en el sotobosque de las plantaciones se puede encontrar una gran diversidad de especies (Guariguata, *et al.* 1995; Keenan *et al.*, 1999; Cusack y Montagnini, 2004; Parrotta y Turnbull, 1997; Powers *et al.*, 1997). Por ejemplo, en el sudeste asiático Jussi *et al.* (1995) encontraron una emergencia espontánea y rápida de especies arbóreas indígenas bajo plantaciones de especies forestales exóticas. Asimismo, en el sur del Brasil Da Silva Junior *et al.* (1998) encontraron en una plantación de *Eucalyptus grandis* con 10 años de edad comunidades de plantas nativas de una etapa avanzada de sucesión. En Puerto Rico, bajo el dosel de plantaciones de la especie exótica *Albizia lebbek* se encontró 22 especies de árboles y arbustos, en comparación con una sola especie en parcelas control sin plantar (Parrotta, 1992). Por otro lado, en el norte de Queensland, Australia, se encontró mayor diversidad de especies en el sotobosque de plantaciones de especies nativas que en las de especies exóticas (Keenan *et al.*, 1999). En la Estación Biológica La Selva, Costa Rica, resultados de algunos estudios sugieren también que las plantaciones con especies nativas presentan un buen potencial para acelerar los procesos de recuperación de la biodiversidad en suelos degradados (Guariguata *et al.*, 1995; Powers *et al.*, 1997; Montagnini, 2001).

Las plantaciones mixtas podrían promover la regeneración de una mayor diversidad de especies en su sotobosque que las plantaciones puras, al crear una mayor variabilidad de condiciones de hábitat y de microclima que favorezcan a los dispersores y a la adaptabilidad de especies para la germinación y crecimiento (Guariguata *et al.*, 1995; Carnevale y Montagnini, 2000, 2002; Cusack y Montagnini, 2004; Montagnini, 2001). Las distintas especies de las plantaciones pueden influir de manera diferencial en las condiciones que crean para la regeneración natural, de manera que es importante estudiar estos efectos en plantaciones compuestas por distintas especies. En el presente trabajo se informa sobre la regeneración arbórea bajo plantaciones de nueve especies nativas mixtas y puras de siete años de edad, en la Estación Biológica La Selva, ubicada en la región de bosque húmedo tropical en la zona Atlántica de Costa Rica. Asimismo se presenta resultados de otro trabajo posterior, que tuvo como objetivo estimar la abundancia y riqueza de especies de semillas y conocer cuáles



son sus principales agentes dispersores, en los mismos tratamientos de parcelas con especies nativas puras, mixtas y de regeneración natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio

Estas investigaciones fueron realizadas en la Estación Biológica La Selva, ubicada en la vertiente Atlántica de Costa Rica (10° 26' N, 86° 59' O). La temperatura media anual es de 24 °C con una precipitación media anual de 4000 mm. En la década de los años 1950 los terrenos del área experimental utilizada para este estudio fueron deforestados y posteriormente utilizados para la producción de arroz por un periodo de 5 años. Seguidamente el área fue quemada para dar paso a la siembra de pasto con fines de producción ganadera hasta 1981. Los terrenos permanecieron abandonados hasta 1991, momento en el cual se comenzó con el establecimiento de tres plantaciones experimentales de especies nativas, mixtas y puras, con el fin de realizar estudios de crecimiento, productividad y reciclaje de nutrientes (Montagnini *et al.*, 1995).

### Diseño de las Plantaciones

Para cada una de las tres plantaciones se combinó cuatro especies arbóreas de las cuales al menos una era fijadora de nitrógeno. Asimismo se combinó especies de crecimiento rápido y especies de crecimiento relativamente lento en cada una de las tres plantaciones. Además las especies fueron combinadas para obtener diferentes patrones de ramificación, tamaño y forma de la corona (Montagnini *et al.*, 1995). Las tres plantaciones fueron diseñadas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela era de 32 m x 32 m, con una densidad inicial de 2 m x 2 m, y a los seis años de establecidas fueron raleadas a 4 m x 4 m. Cada plantación está compuesta por seis tratamientos; cuatro especies en parcelas puras, una mezcla de las cuatro especies y un tratamiento de regeneración natural o control. Uno de los tratamientos en cada plantación tuvo una alta mortalidad por ende estos no fueron muestreados. Los tratamientos evaluados en la plantación 1 fueron *Vochysia guatemalensis* (VG), *Calophyllum brasiliense* (CB), *Jacaranda copaia* (JC), parcelas mixtas de estas tres especies (PM), y parcelas de regeneración natural de pastos abandonados (RN). En la plantación 2 los tratamientos estudiados fueron *Dipteryx panamensis* (DP), *Terminalia amazonia* (TA), *Virola koschnyi* (VK), PM y RN. En la tercera plantación los tratamientos evaluados fueron *Balizia elegans* (BE), *Hyeronima alchorneoides* (HA) y *Vochysia ferruginea* (VF), PM y RN.

### Evaluación de la Regeneración Arbórea

En cada parcela se ubicó al azar (desechando los bordes) dos subparcelas, cada una de 4 m x 4 m, en consecuencia dando un área total de muestreo de 32 m<sup>2</sup> para cada tratamiento. En cada subparcela se identificó todas las especies arbóreas en regeneración. Se contabilizó todos los individuos de cada especie, y se separó en tres clases según la altura: Clase 1: 15 cm -1 m, Clase 2: 1,05 - 2 m, Clase 3: >2 m. La identificación de las especies se realizó en el herbario de la Estación Biológica La Selva.

## Evaluación del Grado de Sombreado y Espesor de la Hojarasca

Para cada sub-parcela, se utilizó la escala de sombreado propuesta por Powers *et al.* (1997) con el propósito de relacionar la regeneración arbórea con la luz incidente en el sotobosque. Dicha escala fija valores de 1 a 4, de acuerdo a la estimación visual del lugar que se considere: 1. Luz plena directa; 2. Luz difusa; 3. Luz oblicua; 4. Sombreado completo. Para medir el espesor de la hojarasca del piso se tomó cuatro puntos al azar dentro de cada subparcela y se midió la profundidad de la misma con una cinta métrica graduada en cm (Carnevale y Montagnini, 2000; 2002)

## Muestreo de Semillas

Para la estimación de la lluvia de semillas en cada tratamiento y repetición se colocó una trampa de 1 m<sup>2</sup> a una altura de 1 m en el centro de cada parcela (Orozco Zamora y Montagnini, 2006<sup>a</sup>; 2006b). Las trampas tenían un fondo de tela de cedazo con apertura de 2 mm x 2 mm. La recolección de las semillas se realizó cada 15 días, de junio a diciembre de 2004. Las muestras fueron colocadas en bolsas de papel y llevadas a un horno de secado a una temperatura de 65 °C por tres días. Las semillas fueron separadas con el uso de tamices de diferentes tamaños. Luego se separó las semillas por especie, contabilizando su cantidad por tratamiento. Seguidamente se identificó las especies de cada semilla en la Estación Biológica La Selva. Asimismo se identificó tanto el síndrome de dispersión como el tipo de función ecológica y paisaje en los cuales estas especies se encuentran más frecuentemente, usando literatura existente y bases de datos de la Estación Biológica la Selva.

## RESULTADOS

### Regeneración de Especies Arbóreas en el Sotobosque de Plantaciones de Especies Nativas

A los siete años de edad, se encontró mayor abundancia de individuos de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones puras de *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia ferruginea*. (Carnevale y Montagnini, 2000; 2002; Cusack y Montagnini, 2004; Montagnini *et al.*, 2005) (Cuadro N° 1 y Figura N° 1). Las plantaciones mixtas también tuvieron buenos resultados, comparables con las de las plantaciones puras de las especies que más favorecieron la regeneración natural arbórea. En contraste, las áreas de parcelas control de pastos abandonados, donde no se plantó árboles, mantuvieron vegetación baja dominada por pastos y helechos.

**Cuadro N° 1**  
**PROMEDIOS DE ABUNDANCIA DE INDIVIDUOS ARBÓREOS POR TRATAMIENTO PLANTACIÓN 1, 2 Y 3 A LOS 7 AÑOS DE EDAD DE LAS PLANTACIONES**

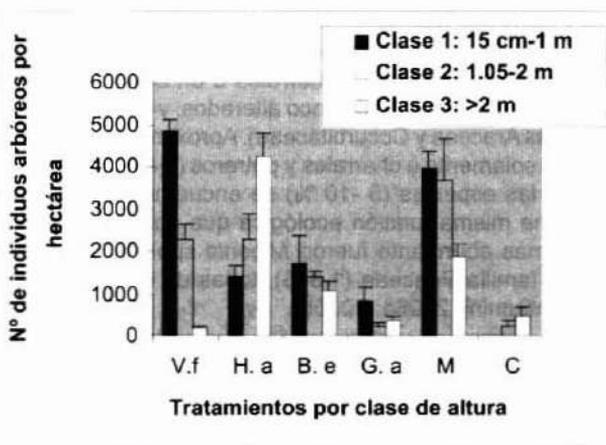
<b>Plantación 1</b>		
<b>Tratamiento</b>	<b>N° Individuos/32 m<sup>2</sup></b>	<b>N° Individuos/ha</b>
<i>Vochysia guatemalensis</i>	90	28 125
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	78	24 375
Jacaranda copaia	57	17 812
Mixta 3 especies	88	27 500
Regeneración natural	29	8 937

<b>Plantación 2</b>		
<b>Tratamiento</b>	<b>N° Individuos/32 m<sup>2</sup></b>	<b>N° Individuos/ha</b>
<i>Virola koschnyii</i>	38	11 875
<i>Dypterix panamensis</i>	18	5 625
<i>Terminalia amazonia</i>	88	27 500
Mixta 3 especies	34	10 625
Regeneración natural	14	4 375

<b>Plantación 3</b>		
<b>Tratamiento</b>	<b>N° Individuos/32 m<sup>2</sup></b>	<b>N° Individuos/ha</b>
<i>Vochysia ferruginea</i>	18	5 703
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	25	7 891
<i>Balizia elegans</i>	13	4 219
Mixta 3 especies	32	10 156
Regeneración natural	2	703

Datos tomados de Carnevale y Montagnini (2000; 2002) y Cusack y Montagnini (2004)

Es interesante examinar la regeneración arbórea por clases de alturas, lo cual indica la sobrevivencia y posibilidad de establecerse en el sitio a largo plazo. Los resultados de la Plantación 3 sirven para ilustrar este aspecto. En este caso se encontró que el mayor número de individuos arbóreos regenerados correspondientes a la Clase 2 (1,05 m - 2 m de altura), se encontró bajo la plantación mixta, seguida de *V. ferruginea* y *H. alchorneoides*, y con promedios significativamente menores, *P. elegans* y regeneración natural (Figura N° 1). Para la Clase 3 (> 2 m) el mayor número de individuos arbóreos se encontró bajo *H. alchorneoides* (4219) (Figura N° 1) (Carnevale y Montagnini, 2000; 2002).



(Fuente: Carnevale y Montagnini, 2000)

M : Mixta

C : Control regeneración natural

Vf : *Vochysia ferruginea*

Ha : *Hyeronima alchorneoides*

Be : *Balizia elegans*

Ga : *Genipa americana* (Descartada después por elevada mortalidad)

Figura N° 1

**NÚMERO DE INDIVIDUOS ARBÓREOS REGENERADOS EN CADA TRATAMIENTO, POR CLASE DE ALTURA PLANTACION 3**

**Abundancia y Dispersión de Semillas**

La mayor abundancia de semillas se encontró en parcelas puras de *Balizia elegans* (5.522), seguido de *Dipteryx panamensis* (2.263), *Jacaranda copaia* (2.091) y la menor abundancia se dio en *Calophyllum brasiliense* (56) y parcelas de regeneración natural (Orozco Zamora y Montagnini, 2006a; 2006b). La mayor densidad de riqueza de especies de semillas se dio en *Jacaranda copaia* y *Hyeronima alchorneoides*, y la menor en la regeneración natural.

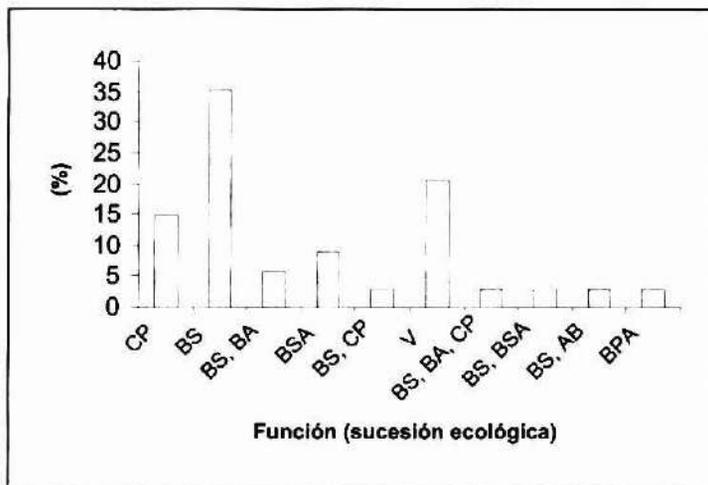
Los tratamientos de regeneración natural presentaron más semillas dispersadas por viento que los tratamientos de plantaciones donde los dispersores fueron principalmente las aves y los mamíferos (Cuadro N° 2). Es importante tener en cuenta que muchas semillas poseen más de un agente dispersor, como aves y mamíferos en el caso de semillas de las especies de *Miconia sp*, *Dendropanax arboreo*, *Cecropia obtusifolia*, *Cucurbitaceae*, *Rollinia pittieri*, entre otras, de las cuales hubo 15.040 semillas con este agente dispersor (Cuadro N° 2). En los tratamientos de regeneración natural la mayoría de las semillas son dispersadas por viento como es el caso de *Aristolochia spreca* y especies que pertenecen a la familia de las Poaceae o pastos.

Del total de las especies de semillas obtenidas el 35% fueron de bosque secundario (*Reineckia alpinia*, *Psychotria bracheata*, *Palicourea guianensis*, entre otras) (Figura N° 2). El 20% de las especies de semillas tuvo una función ecológica o ubicación en el paisaje muy variada, ya que se pueden encontrar en charrales o en bosques secundarios avanzados, bosques riparios, áreas abiertas, bosques poco alterados, y otras funciones (ejemplos, *Ficus*, y especies de las familias Araceae y Cucurbitaceae). Aproximadamente el 15% de las especies de semillas pertenecen solamente a charrales y potreros (ejemplo, semillas de pastos, familia Poaceae). El resto de las especies (5 -10 %) se encuentran entre una a tres categorías, todas compartiendo una misma función ecológica que son los bosques secundarios. Las especies de semillas más abundante fueron *Miconia* spp. (14.492), *Psychotria bracheata* (2.363) y especies de familia Poaceae (1.346), todas de estados tempranos de sucesión (Orozco Zamora y Montagnini, 2006a; 2006b).

**Cuadro N° 2**  
**PORCENTAJE DE DISPERSIÓN POR TRATAMIENTO PARA LAS TRES PLANTACIONES DE ESPECIES NATIVAS**

Tratamiento	Categorías de agentes dispersores						Total %
	Aves (%)	Mamíferos (%)	Viento (%)	Mamíferos y aves (%)	Mamíferos, aves y viento (%)	Otros (%)	
<i>Jacaranda copaia</i>	0	2	8	71	14	6	100
<i>Calophyllum brasiliense</i>	12	-	-	64	10	14	100
<i>Vochysia guatemalensis</i>	94	-	1	-	3	2	100
Mixta 1	13	-	-	79	-	7	100
Regeneración natural 1	80	1	-	-	10	10	100
<i>Terminalia amazonia</i>	-	-	-	99	-	1	100
<i>Virola koschnyi</i>	-	-	-	98	1	1	100
<i>Dipteryx panamensis</i>	2	-	-	98	-	-	100
Mixta 2	5	-	3	88	2	3	100
Regeneración natural 2	-	-	97,7	0,3	2	-	100
<i>Balfizia elegans</i>	-	-	-	100	-	-	100
<i>Hyeronima alchomeoides</i>	44	-	-	49	2	4	100
<i>Vochysia ferruginea</i>	98	-	-	1	-	1	100
Mixta 3	18	0	0	79	1	2	100
Regeneración natural 3	-	-	100	-	-	-	100

(Fuente: Orozco Zamora y Montagnini; 2006a; 2006b)



(Fuente: Orozco Zamora y Montagnini, 2006a; 2006b)  
 CP (charrales y potreros) BS (bosque secundario) BA (bosques alterados)  
 BSA (bosque secundario avanzado) V (variado) AB (áreas abiertas)  
 BPA (bosques poco alterados).

**Figura N° 2**

**FUNCIÓN DE SUCESIÓN ECOLÓGICA PARA LAS ESPECIES DE SEMILLAS IDENTIFICADAS EN LOS TODOS TRATAMIENTOS DE SEIS MESES DE MUESTREO**

## DISCUSIÓN

Los resultados sugieren que en la región en estudio, plantaciones puras de las especies forestales nativas *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia ferruginea* son altamente recomendables para favorecer la regeneración natural en el sotobosque y de esa manera actuar como catalizadoras de la sucesión natural en estas condiciones. Las plantaciones mixtas también tuvieron buenos resultados, comparables con las de las plantaciones puras de las especies que más favorecieron la regeneración natural arbórea. En contraste, las áreas de parcelas control de pastos abandonados, donde no se plantó árboles, mantuvieron vegetación baja dominada por pastos y helechos.

Estos resultados coinciden con las experiencias de Powers *et al.* (1997) en La Selva, quienes encontraron que plantaciones de *V. guatemalensis* y *V. ferruginea* contribuyeron con la supresión temprana del pasto y atrajeron gran cantidad de dispersores. A pesar de la temprana edad de estas plantaciones, se encontró que *Jacaranda copaia*, *Terminalia amazonia* y *Dypterix panamensis* se regeneraban a sí mismas, factor favorable para la recuperación de áreas, en casos de que los agentes dispersores de otras especies arbóreas no actúan eficientemente.

En la plantación 3, la presencia del mayor número de individuos de Clase 1 bajo la plantación mixta y *V. ferruginea* indicaría que las condiciones de alto sombreado y acumulación de hojarasca de mediana a alta bajo estos tratamientos son favorables para el reclutamiento (Carnevale y Montagnini, 2000; 2002). Asimismo, para los individuos de la Clase 2, las mejores condiciones se presentaron bajo la plantación mixta. Sin embargo, para los individuos de Clase 3, el mayor número fue encontrado bajo *H. alchorneoides*. Esto sugiere que aunque la germinación pudo ser mayor bajo plantación mixta o bajo *V. ferruginea*, la sobrevivencia de las plántulas fue significativamente mayor bajo *H. alchorneoides*. Bajo *H. alchorneoides* el índice de sombreado fue mayor que en las plantaciones donde se dio el mayor reclutamiento de las plántulas y el espesor de hojarasca acumulada sobre la superficie del suelo fue de los más elevados.

Las diferentes especies de las plantaciones arbóreas generaron condiciones distintas de sombra y acumulación de hojarasca, determinantes en la abundancia de individuos reclutados y la de los sobrevivientes (adultos). La selección de las especies que se usen como promotoras de la restauración del bosque influirá en el porcentaje de individuos que permanecerán en cada etapa de la regeneración (colonización, establecimiento, crecimiento, sobrevivencia) (Carnevale y Montagnini, 2000; 2002).

La mayoría de las semillas colectadas en las plantaciones corresponden a especies heliófitas o que pertenecen a bosques secundarios tempranos. Esto coincide con los resultados de investigaciones anteriores en La Selva y en la región circundante (Montagnini, 2001; Carnevale y Montagnini, 2002; Cusack y Montagnini, 2004). Aparentemente las plantaciones puras o mixtas con especies forestales nativas tienen un potencial para atraer dispersores y favorecer la regeneración natural (Guariguata *et al.*, 1995; Parrotta *et al.*, 1997; Powers *et al.*, 1997; Keenan *et al.*, 1999). Este papel puede consistir en acelerar o catalizar la sucesión secundaria, pero no se conoce hasta qué punto pueden promocionar el establecimiento de especies de estados más avanzados de sucesión. El presente estudio se realizó en plantaciones cuya edad de corte se estima en 15-25 años dependiendo de las especies (Petit y Montagnini, 2004; 2006). Estudios posteriores pueden verificar si la composición de especies favorecidas por las plantaciones es similar al de estados maduros de la sucesión natural en la región.

Los resultados de investigaciones anteriores con las mismas especies muestran que estas especies presentan crecimiento en volumen atractivo para su siembra y actualmente forman parte importante de proyectos de reforestación en fincas de agricultores en la región (Montagnini, 2005; Redondo Brenes y Montagnini, 2006; Petit y Montagnini, 2004; 2006). Algunas de estas especies tienen un buen potencial para fijar carbono (Montero y Montagnini, 2005; Redondo Brenes y Montagnini, 2006). Estas plantaciones con especies nativas incluso son en parte financiadas por el pago de servicios ambientales vigente en Costa Rica (Montagnini *et al.*, 2005; Redondo Brenes y Montagnini, 2006). Los resultados sugieren que las plantaciones forestales con especies nativas pueden cumplir una función social y económica, pues ofrecen productos arbóreos y contribuyen a la rehabilitación de áreas degradadas, a la absorción de carbono atmosférico y a la recuperación de la biodiversidad.

## CONCLUSIONES

En las plantaciones estudiadas, y en las condiciones del sitio experimental, la regeneración arbórea fue más exitosa bajo plantaciones forestales que en potreros abandonados. En las condiciones de estos ensayos (especies y ambiente), las especies más exitosas para recuperar potreros abandonados fueron *Vochysia guatemalensis*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, y las plantaciones mixtas. En ciertos casos es posible que el establecimiento de la regeneración natural arbórea no dependa tanto del mejoramiento del suelo, como de otros factores tales como la dispersión de semillas y la creación de condiciones microclimáticas apropiadas. La regeneración arbórea fue mayor bajo las especies cuya caída de hojarasca y acumulación de mantillo fueron más abundantes. La producción elevada de hojarasca y acumulación de mantillo contribuyen a inhibir el crecimiento de pastos, favoreciendo así la competencia por especies arbóreas.

Este estudio concuerda con resultados de otras investigaciones en que las plantaciones favorecen la regeneración natural de especies arbóreas. Las plantaciones que presentaron mayor abundancia de lluvias de semillas y mayor riqueza para los seis meses de recolección son especies de buen crecimiento y que se utilizan en programas de reforestación en la región. Es conveniente que se siga fomentando plantaciones de estas especies nativas con los programas de pago de servicios ambientales u otros disponibles, debido a su buen crecimiento y su papel positivo en catalizar la sucesión secundaria en pastios degradados que de otra manera pueden continuar en etapas de sucesión tempranas a muy largo plazo.

## REFERENCIAS

- Carnevale, N. J., y Montagnini, F., 2000.** Facilitamiento de la Regeneración de Bosques Secundarios por Plantaciones de Especies Nativas. *Yvyrareta* (Argentina) 10:21-26.
- Carnevale, N J; Montagnini, F., 2002.** Facilitating Regeneration of Secondary Forests with the Use of Mixed and Pure Plantations of Indigenous Tree Species. *Forest Ecology and Management* 163: 217-227.
- Cusack, D; Montagnini, F., 2004.** The Role of Native Species Plantations in Recovery of Understorey Diversity in Degraded Pasturelands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 188: 1-15.
- Da Silva Junior, M C; Scarano, F R.; De Souza Cardel, F., 1998.** Regeneration of an Atlantic Forest Formation in the Understorey of a *Eucalyptus grandis* Plantation in South-Eastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 11.
- Guariguata, M. R.; Rheingans, R. and Montagnini, F., 1995.** Early Woody Invasion Under Tree Plantations in Costa Rica: Implications for Forest Restoration. *Restoration Ecology* 3(4): 252-260.
- Jussi, K; Goran, A; Yasuf, J; Antti, O; Kari, T. and Risto, V., 1995.** Restoration of Natural Vegetation in Degraded *Imperata cylindrica* Grassland: Understorey Development in Forest Plantations. *Journal of Vegetation Science* 6: 205-210.
- Keenan R; Lamb K; Parrotta J. and Kikkawa J., 1999.** Ecosystem Management in Tropical Timber Plantations: Satisfying Economic Conservations and Social Objectives. *Journal of Sustainable Forestry* 9: 117-134.



**Lugo, A. E., 1992.** Tree Plantations for Rehabilitating Damaged Forest Lands in the Tropics. In M. K. Wali, Editor. *Ecosystem Rehabilitation*, vol. 2: *Ecosystem Analysis and Synthesis*. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands. p 247-255

**Montagnini, F. and Sancho, F., 1990a.** Impacts of Native Trees on Tropical Soils: A Study in the Atlantic Lowlands of Costa Rica. *Ambio* 19(8):386-390.

**Montagnini, F. y Sancho, F., 1990b.** Influencia de Seis Especies de Árboles Nativos sobre la Fertilidad del Suelo en una Plantación Experimental en la Llanura del Atlántico en Costa Rica. *Yvyrareta* (Argentina) 1(1):29-49.

**Montagnini, F.; González, E.; Rheingans, R. y Porras, C., 1995.** Mixed and Pure Forest Plantations in the Humid Neotropics: A Comparison of Early Growth, Pest Damage and Establishment Costs. *Commonwealth Forestry Review* 74(4): 306-314.

**Montagnini, F., 2001.** Strategies for the Recovery of Degraded Ecosystems: Experiences from Latin America. *Interciencia* 26 (10): 498-503.

**Montagnini, F., 2005.** Plantaciones Forestales con Especies Nativas. Una Alternativa Para la Producción de Madera y la Provisión de Servicios Ambientales. *Revista Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 43: 26-33.

**Montagnini, F.; Cusack, D.; Petit, B. and Kanninen, M., 2005.** Environmental Services of Native Tree Plantations and Agroforestry Systems in Central America. *Journal of Sustainable Forestry* 21(1) 51-67.

**Montero, M and Montagnini, F., 2005.** Modelos Alométricos para la Estimación de Biomasa de Diez Especies Forestales Nativas en Plantaciones en la Región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 45: 118-125.

**Nepstad, D.; Uhl, C. and Serrao, E., 1991.** Surmounting Barriers to Forest Regeneration in Abandoned Highly Degraded Pastures: A Case Study from Paragominas, Pará, Brasil. In A.B. Anderson (Editor) *Alternatives to Deforestation: Steps Toward Sustainable Use of the Amazon Rain Forest*. Columbia University Press, New York. p. 215-229.

**Orozco Zamora, C. and Montagnini, F. 2007a.** Lluvia de Semillas y sus Agentes Dispersores en Plantaciones Forestales de Nueve Especies Nativas en Parcelas Puras y Mixtas en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 49: 131-140.

**Orozco Zamora, C. and Montagnini, F. 2007b.** Seed Rain and Seed Dispersal Agents in Pure and Mixed Plantations of Native Trees and Abandoned Pastures at La Selva Biological Station, Costa Rica. *Restoration Ecology* 15(3): 453-461.

**Parrotta, J. A., 1992.** The Role of Plantation Forests in Rehabilitating Degraded Tropical Ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 41:115-133.

**Parrotta, J. A., 1995.** Influence of Understorey Composition on Understorey Colonization by Native Species in Plantations on a Degraded Tropical Site. *Journal of Vegetation Science*. 6: 627-636.

**Parrotta, J.; Turnbull, J. and Jones, N., 1997.** Catalyzing Native Forest Regeneration on Degraded Tropical Lands. *Forest Ecology Management* 99: 1-7.

**Petit, B. and Montagnini, F., 2004.** Growth Equations and Rotation Ages of Ten Native Tree Species in Mixed and Pure Plantations in the Humid Neotropics. *Forest Ecology and Management* 199: 243-257.

**Petit, B. and Montagnini, F., 2006.** Growth in Pure and Mixed Plantations of Tree Species Used in Reforesting Rural Areas of the Humid Region of Costa Rica, Central America. *Forest Ecology and Management*. En prensa.

**Powers, J. S.; Haggard, J. P. and Fisher, R. F., 1997.** The Effect of Understory Composition on Understory Woody Regeneration and Species Richness in 7- Year Old Plantations in Costa Rica *Forest Ecology and Management* 99: 43-54.

**Redondo Brenes, A. and Montagnini, F., 2006.** Growth, Productivity, Biomass and Carbon Sequestration of Pure and Mixed Native Tree Plantations in the Atlantic Lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 232: 168-178.





---

# SUPERVIVENCIA, CRECIMIENTO INICIAL E INTERACCIÓN CON EL SITIO DE PROGENIES DE ÁRBOLES PLUS DE PINO OREGÓN

## *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Braulio Gutiérrez C. <sup>1</sup>

### RESÚMEN

Se evalúa dos ensayos de progenies de pino oregón, de un año de edad, establecidos en un sitio representativo de las condiciones en que tradicionalmente se establece esta especie (Voipir, Villarrica, IX Región) y otro que representa condiciones más adversas, donde se podrían expandir sus plantaciones (Malalcahuello, Lonquimay, IX Región).

Se observa una mayor supervivencia y crecimiento inicial en Voipir, detectándose diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de las familias dentro de cada ensayo individual. Se aprecia una importante incidencia de la interacción genotipo ambiente para la variable supervivencia, valores menores para el diámetro de cuello y una incidencia muy reducida en términos de altura.

Se concluye que es necesario efectuar nuevas evaluaciones, a edades más avanzadas, para poder seleccionar familias en términos de variables de crecimiento. Se confirma, en base a la supervivencia diferencial exhibida por las familias en cada ensayo, la pertinencia de utilizar material genético distinto para cada condición de sitio.

**Palabras clave:** Pino oregón, progenies, interacción genotipo ambiente.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal. Instituto Forestal Sede Bio Bio.  
bgutierr@infor.cl

## DOUGLAS FIR PLUS TREES PROGENIES: SURVIVAL EARLY GROWTH AND SITE INTERACTION

### SUMMARY

Two one year old Douglas Fir progenies tests were analyzed. One of them was established in a representative site condition where the specie is traditionally planted (Voipir, Villarrica, IX Región), the other one represents a more adverse condition, where it is possible to spread its plantations (Malalcahuello, Lonquimay, IX Region).

Higher survival and initial growth were observed at Voipir test. Statistical significant differences in the behavior of the families within each individual trial were detected. An important incidence of genotype-environment interaction was detected for the variable survival; smaller values for the collar diameter; and a very reduced incidence in height.

It is concluded that will be necessary to carry out new evaluations, at more advanced ages, to select families in terms of growth variables. On the basis of the differences in family survival within each test, the convenience of using different genetic materials for each site condition was confirmed.

**Keywords:** Douglas Fir, progenies, genotype - environment interaction

## INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las plantas, y en general de cualquier organismo vivo, está determinado por su constitución genética y las condiciones ambientales donde se desenvuelve. En el caso de las plantaciones forestales este enunciado es particularmente importante, por cuanto indica que no basta con utilizar material selecto o genéticamente mejorado, sino que además hay que saber donde conviene utilizarlo.

Es frecuente que por ejemplo clones o familias de desempeño claramente superior en algunas localidades, al plantarlas en lugares distintos no se diferencian de la media o incluso pueden exhibir resultados decepcionantes. Este fenómeno, denominado interacción genotipo ambiente, debe ser claramente identificado para poder hacer una certera prescripción del material más adecuado para establecer plantaciones en distintos sitios (López y Staffieri, 2003).

En el caso de pino oregón, confiera norteamericana introducida al país hace más de un siglo y recientemente definida como prioritaria para diversificar las plantaciones forestales nacionales, INFOR ha implementado programas de investigación tendientes a mejorar su productividad (Quiroz y Rojas, 2003). Entre otras actividades, en el marco del proyecto INNOVA -CORFO Propagación de Genotipos de Interés Comercial de Pino Oregón, fueron establecidos dos ensayos de progenies obtenidas a partir de semillas de árboles plus identificados en plantaciones nacionales.

Los árboles plus mencionados han sido establecidos en huertos semilleros clonales, orientados a la producción masiva de semillas para abastecer a productores de plantas y forestadores. A pesar de esto, aún no existe seguridad de cual será el comportamiento de las plantas que se obtengan a partir de estos árboles; si estas heredarán efectivamente las características de superioridad de sus padres; si serán igualmente efectivos en distintos ambientes; cuál será la magnitud del efecto genotipo-ambiente que ellas presenten; y cuáles serán las familias o clones más apropiadas para determinados ambientes.

En el presente artículo se analiza el desempeño inicial de los hijos de esos árboles, mediante la evaluación de dos ensayos en los cuales están representadas sus progenies. La evaluación considera el desempeño de las plantas después de su primera temporada de crecimiento en terreno y entrega antecedentes respecto a su crecimiento, supervivencia e interacción con el sitio de plantación

## OBJETIVOS

Evaluar el comportamiento inicial, en términos de supervivencia y crecimiento, de progenies de árboles plus de pino oregón, seleccionados en plantaciones nacionales, establecidas en dos ensayos de progenies en las zonas de Villarrica y Malcalhuello.



## MATERIAL Y MÉTODO

### Material

Se evalúa la primera medición de altura (ALT), diámetro de cuello (DAC) y supervivencia (SUP) efectuada después de una temporada de crecimiento vegetativo en terreno (abril, 2006) de dos ensayos de progenies de pino oregón; Voipir y Malalcahuello, establecidos el año 2005 (Cuadro N° 1).

**Cuadro N° 1**  
**ENSAYOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN**

ENSAYO (Propietario)	FECHA PLANTACION	TIPO	UBICACIÓN	N° PROGENIES/ N° PLANTAS	SUPERFICIE EFECTIVA (ha)
VOIPIR (Forestal Voipir)	Ago'05	Progenies	Villarrica	30 / 720	0,65
MALALCAHUELLO (Conaf)	Sep'05	Progenies	RN Malalcahuello	27 / 648	0,60

El ensayo de Voipir se ubica a 12 Km de la ciudad de Villarrica (IX Región), en una situación de valle andino y cordillera baja, representativa de la condición donde más han prosperado las plantaciones de pino oregón en Chile. El ensayo Malalcahuello se ubica en la Reserva Forestal Malalcahuello-Las Nalcas (IX Región), corresponde a una situación de cordillera con depositación de material volcánico altamente estratificado (Becerra y Faúndez, 1999), con restricciones de temperatura, mayor incidencia de heladas y de precipitaciones sólidas y con suelos más delgados y de menor desarrollo, condiciones que en su conjunto ofrecen mayores limitaciones para el desarrollo de pino oregón..

El diseño de los ensayos corresponde al de bloques completos al azar, cada ensayo consta de 6 bloques, en los cuales cada progenie se representa por una parcela lineal de 4 plantas.

Las progenies contempladas en ambos ensayos corresponden a familias de polinización abierta de árboles plus adultos cuyas características se resumen en el Cuadro N° 2. En el mencionado cuadro se destaca que existen árboles que fueron seleccionados en las mismas áreas en que fueron establecidos los ensayos (2 árboles seleccionados en Malalcahuello y 6 en Voipir), de modo que para fines de los análisis sus respectivas progenies se consideran como progenies locales en los ensayos establecidos en la misma zona de selección.

**Cuadro N° 2**  
**IDENTIFICACIÓN DE ÁRBOLES PLUS Y REPRESENTACIÓN DE SUS PROGENIES**  
**EN LOS ENSAYOS DE VOIPIR Y MALALCAHUELLO**

Progenie	CARACTERIZACIÓN DE ARBOL PLUS				Representación en ensayos	
	Edad (años)	LUGAR DE SELECCIÓN			Voipir	Malalcahuello
		Predio	Localidad	Reg.		
IN 1	28	Reserva Malleco	Collipulli	VIII	√	√
IN 2	28	Reserva Malleco	Collipulli	VIII	√	
IN 5	28	Reserva Malleco	Collipulli	VIII	√	√
IN 6	28	Reserva Malleco	Collipulli	VIII	√	√
IN 7*	26	Reserva Malalcahuello	Curacautin	IX	√	√
IN 8*	26	Reserva Malalcahuello	Curacautin	IX	√	√
IN 9**	46	Fundo Voipir	Villarrica	IX	√	√
IN 10**	50	Fundo Voipir	Villarrica	IX	√	√
IN 12**	50	Fundo Voipir	Villarrica	IX	√	√
IN 13**	46	Fundo Voipir	Villarrica	IX	√	√
IN 14**	46	Fundo Voipir	Villarrica	IX	√	√
IN 17**	43	Fundo Voipir	Villarrica	IX	√	√
IN 20	30	E. Fourcade	Loncoche	IX	√	√
IN 21	28	Fundo Las Palmas	Valdivia	X	√	√
IN 22	28	Fundo Las Palmas	Valdivia	X	√	√
IN 23	28	Fundo Las Palmas	Valdivia	X	√	√
IN 24	44	Fundo Las Palmas	Valdivia	X	√	√
IN 26	28	E. Fourcade	Los lagos	X	√	√
IN 27	28	E. Fourcade	Los lagos	X	√	√
IN 34	28	Fundo Arquihue	Llifén	X	√	
IN 35	28	Fundo Arquihue	Llifén	X	√	
IN 36	28	Fundo Trinidad	Osorno	X	√	√
IN 38	28	Fundo Trinidad	Osorno	X	√	√
IN 39	28	Fundo Trinidad	Osorno	X	√	√
IN 40	28	Fundo Trinidad	Osorno	X	√	√
IN 41	28	Fundo Trinidad	Osorno	X	√	√
IN 42	38	Fundo Pedernal	Purranque	X	√	√
IN 43	40	Fundo Pedernal	Purranque	X	√	√
IN 44	28	Reserva Mañihuales	Coyhaique	XI	√	√
IN 45	28	Reserva Mañihuales	Coyhaique	XI	√	√
<b>Total de progenies</b>					<b>30</b>	<b>27</b>

\* Progenie local en ensayo Malalcahuello (PLM)

\*\* Progenie local en ensayo Voipir (PLV)

## Método

La evaluación consistió en un análisis descriptivo de los ensayos y una estimación del grado de interacción genotipo ambiente.

Para las variables evaluadas (SUP, ALT, y DAC) fueron efectuados análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de Tuckey para cada ensayo en forma individual, agrupando la información a nivel de progenies y lugar de selección de los árboles plus que generaron cada progenie. Se usó el software de análisis estadístico InfoStat/Pro y el siguiente modelo de evaluación:

$$Y = u + B + P + e$$

Donde:

- $u$  = Promedio de la variable
- $B$  = Efecto del bloque
- $P$  = Efecto de la progenie
- $e$  = Error o residuo

Para evaluar el grado de interacción genotipo ambiente, o equivalentemente las variaciones producidas en los rankings de cada sitio ensayado, se evaluó los números de orden de las progenies en cada ranking, haciendo uso del coeficiente de correlación de Spearman.

## RESULTADOS

### Análisis Descriptivo

Las características generales de los dos ensayos evaluados son resumidas en el Cuadro N° 3, donde se observa que las condiciones de sitio más adversas de Malalcahuello, incidieron en una menor supervivencia y crecimiento inicial de las plantas, respecto de los valores observados en Voipir.

Cuadro N° 3

#### ANTECEDENTES GENERALES DE DOS ENSAYOS DE PINO OREGÓN EVALUADOS DESPUÉS DE LA PRIMERA TEMPORADA DE CRECIMIENTO EN TERRENO

ENSAYO	SUP (%)	DAC (mm)	ALT (cm)
Voipir	97,0	11,5	55,1
Malalcahuello	83,1	8,0	37,4

En términos de supervivencia media por familia, ésta es alta para la mayoría de las progenies ensayadas, no obstante se registra algunas que han exhibido un desempeño claramente inferior, particularmente en el sitio de Malalcahuello (Cuadro N° 4). En este último ensayo se observan 5 familias con supervivencia inferior a 75%, siendo los valores

menores los alcanzados por las progenies IN-01 (35%), IN-44 (50%), IN-38 (55%), IN-22 (56,3%) e IN-41 (60%). En Voipir, por su parte, la supervivencia media familiar se encuentra sobre el 91%, con excepción de tres familias (IN-02, IN-08 e IN-44) que exhiben valores levemente inferiores, pero que fluctúan entre 77 y 88%.

**Cuadro N° 4**  
**VALORES DE SOBREVIVENCIA POR FAMILIA EN DOS ENSAYOS DE PROGENIES DE PINO OREGÓN**

PROGENIE	SUPERVIVENCIA (%)	
	VOIPIR	MALALCAHUELLO
IN-01	91,7	35,0
IN-02	77,8	-
IN-05	100,0	85,0
IN-06	100,0	80,0
IN-07 *	100,0	80,0
IN-08 *	87,5	100,0
IN-09 **	100,0	100,0
IN-10 **	100,0	100,0
IN-12 **	95,8	95,0
IN-13 **	100,0	90,0
IN-14 **	95,8	75,0
IN-17 **	100,0	85,0
IN-20	100,0	80,0
IN-21	100,0	100,0
IN-22	100,0	56,3
IN-23	95,8	80,0
IN-24	100,0	100,0
IN-26	95,8	95,0
IN-27	100,0	100,0
IN-34	100,0	-
IN-35	91,3	-
IN-36	100,0	100,0
IN-38	100,0	55,0
IN-39	100,0	95,0
IN-40	95,8	75,0
IN-41	100,0	60,0
IN-42	95,8	90,0
IN-43	100,0	87,5
IN-44	82,6	50,0
IN-45	100,0	100,0
Promedio	97,0	83,1

(-) : Progenie no considerada en el ensayo

(\*) : Progenie local en ensayo Malalcahuello

(\*\*) : Progenie local en ensayo Voipir

En términos de crecimiento, al evaluar la variación a nivel de familias dentro de cada ensayo, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas tanto para la altura como para el diámetro de cuello (Cuadros N°s 5 y 6). No se observa una ventaja evidente de las progenies locales en el ensayo Malalcahuello, las que exhiben un comportamiento en altura y diámetro similar al promedio.

En el caso de Voipir, las progenies locales tienden a presentar un comportamiento superior, concentrándose por sobre el promedio de las familias ensayadas y siendo este comportamiento más evidente para el diámetro de cuello que para la altura.

**Cuadro N° 5**  
**VALORES MEDIOS DE ALTURA (ALT) POR FAMILIA**

ENSAYO VOIPIR				ENSAYO MALALCAHUELLO			
PROGENIE	ALT MEDIA (cm)	n		PROGENIE	ALT MEDIA (cm)	n	
IN-35	39,98	21	A	IN-22	26,84	9	A
IN-02	40,85	14	A	IN-38	27,65	11	AB
IN-22	41,96	24	A B	IN-43	27,94	14	AB
IN-44	42,78	19	A BC	IN-45	30,10	20	ABC
IN-43	43,46	24	A BC	IN-41	31,08	12	ABCD
IN-34	46,01	19	A BCD	IN-14	31,81	15	ABCDE
IN-45	47,46	24	A BCDE	IN-40	33,40	15	ABCDE
IN-36	48,75	24	BCDEF	IN-26	33,94	19	ABCDEF
IN-14 **	50,05	23	CDEFG	IN-01	34,33	7	ABCDEF
IN-42	51,36	23	DEFGH	IN-44	34,58	10	ABCDEF
IN-41	53,21	24	DEFGHI	IN-08 *	34,70	20	ABCDEF
IN-38	53,38	24	DEFGHIJ	IN-39	34,94	19	ABCDEF
IN-26	54,36	23	EFGHIJK	IN-36	37,50	8	ABCDEF
IN-17 **	54,75	24	EFGHIJK	IN-07 *	37,90	16	BCDEF
IN-01	54,79	22	EFGHIJK	IN-42	38,10	18	BCDEF
IN-21	55,88	24	FGHIJKL	IN-21	38,70	20	CDEF
IN-39	57,25	24	GHIJKLM	IN-20	39,09	16	CDEF
IN-40	57,65	23	GHIJKLM	IN-24	40,10	20	CDEF
IN-20	58,71	24	HIJKLMN	IN-09	40,95	20	DEF
IN-23	58,93	23	HIJKLMN	IN-17	41,15	17	DEF
IN-09**	59,50	24	IJKLMNOP	IN-23	41,39	16	DEF
IN-24	59,83	24	IJKLMNOP	IN-06	41,45	16	DEF
IN-13 **	60,04	24	IJKLMNOP	IN-12	41,67	19	DEF
IN-08	61,09	21	JKLMNOP	IN-13	42,09	18	EF
IN-07	61,37	24	KLMNOP	IN-10	42,10	20	EF
IN-12 **	63,51	23	LMNOP	IN-05	44,27	17	F
IN-27	64,63	24	MNOP	IN-27	44,40	20	F
IN-05	65,83	24	NOP				
IN-10**	66,88	24	OP				
IN-06	67,67	24	P				

Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =7,879  
Error: 47,055 gl: 851  
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =10,703  
Error: 60,516 gl: 401  
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

(\*) : Progenie local en ensayo Malalcahuello  
(\*\*) : Progenie local en ensayo Voipir

**Cuadro N° 6**  
**VALORES MEDIOS DE DIAMETRO DE CUELLO (DAC) POR FAMILIA**

ENSAYO VOIPIR				ENSAYO MALALCAHUELLO			
PROGENIE	DAC MEDIO (mm)	n		PROGENIE	DAC MEDIO (mm)	n	
IN-35	8,74	21	A	IN-22	6,84	9	A
IN-34	9,59	19	AB	IN-38	6,95	11	AB
IN-44	10,02	19	ABC	IN-14	7,23	15	ABC
IN-43	10,17	24	ABC	IN-26	7,37	19	ABC
IN-02	10,26	14	ABCD	IN-44	7,40	10	ABC
IN-26	10,28	23	ABCD	IN-24	7,40	20	ABC
IN-24	10,96	24	ABCDE	IN-41	7,48	12	ABC
IN-23	10,98	23	ABCDEF	IN-42	7,57	18	ABC
IN-42	11,07	23	BCDEF	IN-43	7,62	14	ABC
IN-22	11,17	24	BCDEF	IN-40	7,69	15	ABCD
IN-39	11,29	24	BCDEFG	IN-05	7,73	17	ABCD
IN-01	11,31	22	BCDEFG	IN-06	7,77	16	ABCD
IN-40	11,31	23	BCDEFG	IN-01	7,85	7	ABCD
IN-38	11,33	24	BCDEFG	IN-08 *	7,85	20	ABCD
IN-09**	11,38	24	BCDEFG	IN-09	7,90	20	ABCD
IN-12 **	11,60	23	BCDEFG	IN-45	7,95	20	ABCD
IN-41	11,75	24	BCDEFG	IN-07 *	8,01	16	ABCD
IN-14 **	11,78	23	BCDEFG	IN-20	8,07	16	ABCD
IN-21	11,79	24	BCDEFG	IN-39	8,26	19	ABCD
IN-08	11,87	21	CDEFG	IN-10	8,30	20	ABCD
IN-17 **	11,88	24	CDEFG	IN-12	8,37	19	ABCD
IN-45	11,92	24	CDEFG	IN-21	8,45	20	ABCD
IN-27	12,00	24	CDEFG	IN-17	8,67	17	ABCD
IN-20	12,46	24	DEFG	IN-27	8,80	20	ABCD
IN-13 **	12,50	24	DEFG	IN-23	8,83	16	BCD
IN-06	12,63	24	EFG	IN-13	9,05	18	CD
IN-05	12,71	24	EFG	IN-36	9,63	8	D
IN-36	12,75	24	EFG	Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =1,98038			
IN-10 **	13,25	24	FG	Error: 2,0717 gl: 401			
IN-07	13,52	24	G	Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)			
Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =2,27384							
Error: 3,9183 gl: 651							
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)							

(\*) : Progenie local en ensayo Malalcahuello

(\*\*) : Progenie local en ensayo Voipir

Analizando los resultados en función del lugar en que fueron seleccionados los árboles plus que originaron cada progenie, se observa que estas se diferencian en forma estadísticamente significativa, en altura y diámetro de cuello en Voipir y en solo en altura en Malalcahuello (Cuadros N°s 7 y 8).



**Cuadro N° 7**  
**VALORES MEDIOS DE ALTURA (ALT) SEGÚN ORIGEN DE LOS ÁRBOLES PLUS**

ENSAYO VOIPIR				ENSAYO MALALCAHUUELLO			
ORIGEN DE ÁRBOL PLUS	ALT MEDIA (cm)	n		ORIGEN DE ÁRBOL PLUS	ALT MEDIA (cm)	n	
Arquihue	42,95	40	A	Mañihuales	31,62	30	A
Mañihuales	45,41	43	A	Trinidad	32,86	65	A B
Pedernal	47,32	47	A	Pedernal	33,55	32	A BC
Trinidad	54,02	119	B	Malalcahuello (OL)	36,13	36	A BCD
Las Palmas	54,1	95	B	Las Palmas	38,12	65	BCD
Loncoche	58,71	24	BC	Loncoche	39,05	16	CD
Voipir (OL)	59,15	142	BC	Los Lagos	39,3	39	CD
Malleco	59,23	84	BC	Voipir	40,25	109	D
Los Lagos	59,6	47	C	Malleco	41,36	40	D
Malalcahuello	61,23	45	C				
Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =5,22976 Error: 77,2707 gl: 671 Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)				Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =5,89409 Error: 72,0267 gl: 419 Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)			

OL: Origen local

**Cuadro N° 8**  
**VALORES MEDIOS DE DIAMETRO DE CUELLO (DAC) SEGÚN ORIGEN DE LOS ÁRBOLES PLUS**

ENSAYO VOIPIR				ENSAYO MALALCAHUUELLO			
ORIGEN DE ÁRBOL PLUS	DAC MEDIO (mm)	n		ORIGEN DE ÁRBOL PLUS	DAC MEDIO (mm)	n	
Arquihue	9,1	40	A	Pedernal	7,6	32	A
Pedernal	10,6	47	B	Malleco	7,8	40	A
Mañihuales	11,1	43	BC	Mañihuales	7,8	30	A
Los Lagos	11,2	47	BC	Trinidad	7,9	65	A
Las Palmas	11,2	95	BC	Malalcahuello (OL)	7,9	36	A
Trinidad	11,7	119	BCD	Las Palmas	8,0	65	A
Malleco	11,9	84	CD	Loncoche	8,1	16	A
Voipir (OL)	12,1	142	CD	Los Lagos	8,1	39	A
Loncoche	12,5	24	D	Voipir	8,3	109	A
Malalcahuello	12,8	45	D				
Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =1,22537 Error: 4,2421 gl: 671 Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0,05)				Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =1,04802 Error: 2,2772 gl: 419 Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)			

OL: Origen local

Un comportamiento singular es que las progenies de árboles plus seleccionados en Voipir exhiben el mejor desempeño en el ensayo de Malalcahuello, mientras que las de

Malalcahuello lo exhiben en Voipir. No obstante, esta contradicción es sólo aparente y se deriva de evaluar los resultados de crecimiento en términos absolutos. Efectivamente, en términos estadísticos, las progenies de origen local dentro de cada ensayo no se diferencian de aquellas que consiguen el mejor desempeño, conformando un grupo homogéneo tal como se ilustra en las pruebas de Tuckey graficadas en los Cuadros N°s 7 y 8. Mayores antecedentes a este respecto se discuten en el apartado siguiente.

### Estimación de Interacción Genotipo - Ambiente

Los rankings familiares de altura y diámetro de cuello de ambos ensayos muestran distintos niveles de correlación.

En el caso del DAC, existe una considerable variación entre los ranking familiares de cada ensayo, que se refleja en una baja correlación lineal entre ellos ( $R=0,51$ ), situación que evidencia un importante efecto de interacción genotipo ambiente. En términos prácticos se interpreta como que las progenies que tienen el mejor desempeño en DAC no son las mismas en ambos ensayos, o análogamente, las mejores familias de un ensayo no son necesariamente las mejores en el otro (Figura N° 1).

En términos de altura se aprecia un mayor grado de coincidencia entre los ranking familiares de cada ensayo. En este caso la correlación alcanza a  $R=0,79$ , indicando una reducida interacción genotipo ambiente y permitiendo concluir que, respecto de la altura, las familias de mejor desempeño en un ensayo tienden a ser las mismas en el ensayo complementario (Figura N° 1).

A LA IZQUIERDA DIÁMETRO DE CUELLO ( $R=0,51$ ) Y A LA DERECHA ALTURA ( $R=0,79$ ).

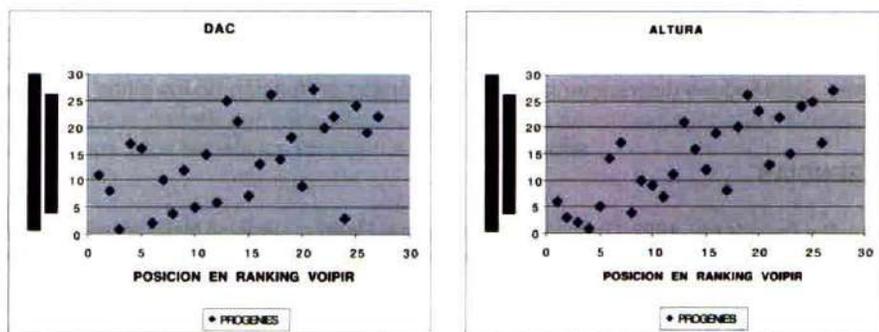


Figura N° 1  
CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LOS RANKINGS DE LOS ENSAYOS VOIPIR Y MALALCAHUELLO.

Respecto de la supervivencia en tanto, se observa la mayor variación en el ordenamiento de la progenies en los distintos sitios, en este caso se obtiene el menor valor

de correlación ( $R= 0,40$ ), indicando un mayor efecto de interacción genotipo ambiente. Esta situación confirma que las familias que exhiben mayor supervivencia en cada sitio tienden a ser distintas, destacando la importancia de una adecuada selección del material genético a establecer en cada uno de ellos.

## CONCLUSIONES

Una evaluación temprana, como la efectuada en este estudio, no es adecuada para emitir juicios respecto al comportamiento familiar en aspectos de crecimiento, como tampoco para seleccionar o recomendar las familias más apropiadas para cada sitio. Su valor radica en que constituye una fuente de información para correlacionar con evaluaciones futuras y en función de esas correlaciones edad-edad, poder determinar a partir de qué momento se puede hacer selecciones que sean representativas del comportamiento familiar al momento de la rotación.

Por el contrario, en términos de supervivencia, una evaluación temprana, como la efectuada, permite discriminar las procedencias más apropiadas para ser establecidas en cada sitio, aún cuando esta información estará en alguna medida alterada por las condiciones climáticas específicas del año de la plantación.

En función de los antecedentes evaluados, se puede concluir que en el sitio de Voipir la mayoría de las familias logra establecerse exitosamente, mientras que en las condiciones más severas, representadas por el sitio de Malalcahuello, existen progenies que no resultan adecuadas, particularmente las familias IN-01, IN-44, IN-38 e IN-22.

El significativo efecto de la interacción genotipo ambiente, evidenciado por la variable supervivencia, señala claramente que las familias de pino oregón más adecuadas para los sitios tradicionales de cultivo, no son las mismas que presentan el mejor desempeño en sitios de características más adversas. Por lo mismo, no es válido efectuar recomendaciones generales, debiéndose discriminar las familias idóneas en función de los sitios a plantar.

## REFERENCIAS

**Becerra, P. y Faúndez L., 1999.** Diversidad Florística de la Reserva Nacional Malalcahuello, IX Región, Chile. *Chloris Chilensis*. Año 2, N° 1: <http://www.chlorischile.cl/Becerra/becerra.htm>. Consulta 10.05.2006.

**López, J. y Staffieri, G., 2003.** Interacción Genotipo-Ambiente y Heredabilidad de la Densidad de la Madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* en el Noreste de Argentina. XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. <http://www.sagpya.mec.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/2003/posters03/211%20Lopez%20interacción%20pinos.pdf> Consulta 10.05.2006.

**Quiroz, M. y Rojas, Y., 2003.** Pino Ponderosa y Pino Oregón. Coníferas para el Sur de Chile. Instituto Forestal Sede Los Lagos. Valdivia, Chile. 302 p + anexos.

---

# EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y ALGORITMOS HEURÍSTICOS COMO HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN EN BOSQUE PRIMARIO DE LA PATAGONIA

Simón Moreira-Muñoz<sup>1</sup> y Paulo Moreno Meynard<sup>2</sup>

## RESÚMEN

La Undécima Región de Chile presenta una serie de características que dificultan su desarrollo forestal. Entre ellas se puede mencionar bajos rendimientos de madera aserrable de primera calidad e infraestructura deficiente, sin una red caminera adecuada. El alto costo de inversión en habilitación, sumado a una baja tasa de rendimiento, se traduce en un negocio de mucho riesgo y baja rentabilidad.

Este trabajo detalla la metodología desarrollada para lograr la planificación de una faena forestal en los bosques de lenga. El objetivo general es encontrar la secuencia de cosecha que permita al propietario maximizar su beneficio, bajo un cierto escenario. Esto se traduce en la decisión de cuándo, dónde, cómo y cuánto intervenir, para satisfacer a niveles aceptables los objetivos de manejo de un bosque o patrimonio. Para ello se usó la Evaluación Multicriterio en la definición de las variables críticas que determinan decisiones de manejo y, en una segunda etapa, el programa Network2000, que utiliza un algoritmo heurístico asociado a un problema de redes, para abordar la planificación cuando no se cuenta con una infraestructura vial adecuada ni el patrimonio tiene una edad de cosecha establecida. Los principales resultados de este trabajo incluyen la determinación de variables de decisión, una zonificación del patrimonio según objetivos, la selección de la ruta óptima desde cada nodo de origen hasta el destino final, los costos variables de transporte correspondientes a cada origen, los costos variables fijos y totales para cada unidad de oferta, el costo promedio y el volumen que pasará por cada segmento de camino anualmente, el año de habilitación de los caminos y los beneficios totales del plan de cosecha.

**Palabras claves:** *Nothofagus pumilio*, bosques nativos, manejo forestal, Patagonia

---

<sup>1</sup> Instituto Forestal, Chile, smoreira@interchange.ubc.ca

<sup>2</sup> Instituto Forestal, Chile, pmoreno@infor.cl

## MULTICRITERIA ASSESSMENT AND HEURISTIC ALGORITHMS AS PLANNING TOOLS IN PATAGONIA FIRST GROWTH FORESTS

### SUMMARY

The XI Region of Chile has characteristics that make forest development difficult. These include abundant area of native forest, but with low saw-log yields, and a deficient road infrastructure. The main roads have a low quality standard and most of the secondary roads do not exist yet. High investment for accessing the forest, together with a low yield of quality logs, creates a high risk business with low profit.

The main objective of this work was to search for practical tools and alternatives that allow the owner to satisfy his harvest requirements in the medium-term under environmental restrictions by answering when, where, how, and how much can be harvested. Multi-criteria analysis was used in a first stage to find the key variables, which will guide management objectives. In a second stage the software Network2000 was used to build and solve a network-transportation problem when the absence of a road infrastructure can result in an infeasible project, because of economical restrictions. The main results include the definition of some key environmental variables and their spatial distribution and a GIS database of the forest to facilitate the planning process as decision support system. On the operational side, an analysis of the potential roads, the connection of the harvest units to a sawmill, with variable cost, fixed cost, total cost, and volume per section of road and harvest unit is presented as solution. The timing of the different investments and the total profit of the scenarios is also present.

**Key words:** *Nothofagus pumilio*, native forests, forest management, Patagonia.

## INTRODUCCIÓN

La Región de Aysén está incorporada a la Ley Austral (N° 19.606), que da facultad al Ministerio de Bienes Nacionales de entregar concesiones onerosas de terrenos fiscales a largo plazo, para el desarrollo de proyectos específicos (Diario Oficial de la República de Chile, 1999). Esto significa una oportunidad para la Undécima Región, que presenta gran parte de sus terrenos fiscales con potencial de desarrollo forestal y un patrimonio constituido principalmente por bosque primario del Tipo Forestal Lengua, *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser.

El concepto de sustentabilidad debería estar detrás de cualquier iniciativa de producción y especial énfasis merece su cumplimiento en lo que es patrimonio estatal, donde el Estado debe velar por los requerimientos de la sociedad, reconociendo la multifuncionalidad del bosque y sus beneficiarios. El propietario puede tener múltiples objetivos y, consecuentemente, existe la necesidad de una planificación forestal y herramientas de decisión de mayor complejidad para satisfacer dichas necesidades (Kangas *et al.*, 2006). Schmoltdt *et al.* (2001) plantean que muchas veces los objetivos de manejo son mutuamente inconsistentes o que no pueden ser plenamente alcanzados, debido a limitaciones prácticas de espacio y tiempo. A esto se suma que el tomador de decisiones debe actuar en un entorno incierto, donde no dispone de la información apropiada cualitativa y cuantitativamente para describir, prescribir o predecir determinísticamente o numéricamente un sistema, su comportamiento u otra característica (Zimmermann, 2000). Con el apoyo de la Evaluación Multicriterio (EMC) se pueden identificar y jerarquizar los factores que guían esta decisión.

Por otro lado, la programación lineal es la mejor técnica para abordar problemas de planificación de secuencias de cosecha forestal, pero el aumento de los objetivos y los requerimientos espaciales, como restricciones de adyacencia e inclusión de infraestructura de caminos, han incrementado el tamaño y la dificultad de los problemas, limitando el uso de esta programación por restricciones de tiempo y capacidad computacional. Además, su uso requiere un alto nivel de experiencia, principalmente en la formulación de las matrices e interpretación de los resultados. Ello ha dado pie a otras técnicas, como los algoritmos heurísticos y la simulación, con soluciones más prácticas desde el punto de vista del usuario, que si bien pueden no ser óptimas, son mejores que las que podría llegar a evaluar una persona por sí sola.

En el caso de los bosques primarios de lengua, existe información sobre su dinámica y economía. Grandes esfuerzos se han realizado en zonas más australes de Chile y Argentina en relación con la dinámica sucesional del bosque, la respuesta al manejo y la determinación de funciones de rodal y de crecimiento (Schmidt *et al.*, 1992; Martínez Pastur *et al.*, 2002). Esta información es necesaria, pero no suficiente; su aumento permitirá un mejor desarrollo de la industria forestal vinculada al recurso.

Este trabajo se centró en dos ejes; primero, en determinar variables que podrían definir distintas respuestas del bosque, aplicando un determinado esquema de manejo y para lo cual se utilizó la Evaluación Multicriterio. Como segundo eje, se realizó una exploración de las potencialidades y la proyección del negocio forestal, con la ayuda de herramientas prácticas de planificación que se adaptan a las condiciones de información existentes.



## OBJETIVOS

Determinar las variables que definirán la zonificación del patrimonio y establecer objetivos de manejo.

Realizar un análisis económico de la cosecha del patrimonio, considerando restricciones de manejo, costos de inversión y operación, flujos requeridos y su horizonte de planificación.

## ANTECEDENTES GENERALES

El patrimonio está caracterizado por un bosque primario del Tipo Forestal Lengua y una composición mixta de lenga y coihue de Magallanes (*Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst.) hacia las zonas más húmedas y bajas del valle. En términos comerciales tiene bajas tasas de aprovechamiento en madera aserrable, pero un mercado importante a nivel nacional e internacional dentro de las maderas nobles. La estructura del bosque se presenta en forma de mosaico (con 1 ó 2 estratos verticales) y el desarrollo es homogéneo en pequeñas superficies de no más de 5.000 m<sup>2</sup>. Hay una mezcla de estados de desarrollo, sanidad y rendimiento.

La Evaluación Multicriterio (EMC) es una herramienta que ayuda a el o los tomadores de decisiones a organizar y sintetizar la información de un modo que les permita sentirse cómodos y confiados sobre la decisión tomada, minimizando el potencial de rechazo posterior, ya que todos los factores o criterios fueron debidamente considerados (Belton & Stewart, 2001). La identificación de las variables relevantes es una parte del proceso, pero la determinación de la importancia relativa (o peso) de cada una de ellas es un gran desafío para el desarrollo de escenarios (Maness & Farell, 2004). Una revisión reciente fue hecha por Mendoza y Martins (2006) sobre el uso de la evaluación o decisión multicriterio y sus aplicaciones en el sector forestal. Dadas sus características y flexibilidad, la EMC tiene un amplio espectro de utilización y "el juicio de expertos" es un buen método para la determinación de estos criterios y su importancia relativa.

La solución más adecuada para problemas de planificación está en las técnicas exactas. La ventaja de las técnicas exactas, como programación entera o programación dinámica, es que su solución es óptima, pero su desventaja es que presentan limitaciones de tiempo y de capacidad computacional (Nelson, 2003). Es así como surgen los algoritmos heurísticos, definidos como una "técnica que busca buenas soluciones (cercanas al óptimo) a un costo computacional razonable, pero sin poder garantizar factibilidad ni optimalidad, o incluso, en muchos casos ni siquiera definir cuán cerca se encuentra una solución particular del óptimo" (Reeves, 1993). En el mercado existe una serie de programas computacionales de diversa complejidad que abordan temas de caminos dentro de la planificación forestal, en diferentes grados de detalle y con distintas técnicas de solución, como por ejemplo Planex (Epstein *et al.*, 2001) y FPS-ATLAS (Nelson, 2003). Debido a que son complejos y a los requerimientos de información, no siempre sirven a todos los usuarios o tipos de problema.

En bosques primarios de avanzado estado de desarrollo y sanidad variable, la edad de cosecha no es un buen indicador para determinar una secuencia de corta, ya que cada cantón está disponible, dependiendo de su accesibilidad, desde el principio hasta el fin del horizonte de planificación. Esto se traduce en que el acceso es la principal variable de interés y la inversión en infraestructura vial y los respectivos flujos de capital son factores determinantes.

Bajo lo anterior, la planificación debe considerar los costos de inversión en infraestructura; un análisis de transporte o de redes que considera costos fijos y costos variables es el algoritmo heurístico propuesto por Sessions (1987). Éste calcula el costo mínimo de la red usando un algoritmo de ruta crítica para resolver el problema de costo variable. La primera iteración minimiza los costos variables e ignora los fijos. Los costos fijos se introducen en el problema de costos variables, reasignando los variables al final de cada iteración. Es decir, se transforman los costos fijos en costos variables equivalentes. La solución considera múltiples períodos de tiempo, convirtiendo el problema de mínimo costo a máximo valor neto presente. El algoritmo heurístico se resuelve con el uso del programa computacional Network2000 (Chung & Sessions, 2003). Este algoritmo incluye el tipo de problema llamado *shortest path* (camino más corto) y dos algoritmos probabilísticos: *simulated annealing* (Kirkpatrick *et al.*, 1983) y *great deluge* (Dueck, 1993). Muchos trabajos vinculados al sector forestal, desde su primera aplicación al rubro hecha por Lockwood y Moore (1993), han aparecido y también muchos esfuerzos por analizar el desempeño de los distintos algoritmos para cada tipo de problema (Boston & Bettinger, 1999; Bettinger *et al.*, 2002; Crowe & Nelson, 2005; Pukkala & Kurttila, 2005). Finalmente, Network2000, o previas versiones, ha sido empleado en otros trabajos chilenos, en los que se aplicó un análisis de redes para estudiar problemas de caminos y cosecha forestal (Gayoso *et al.*, 1995; Gayoso, 1997; Gayoso *et al.*, 1991; Gayoso e Iroumé, 1993; Gayoso y Muñoz, 2000).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Área de Estudio

El patrimonio se localiza en la zona de los Ríos Ibáñez y Cajón, en la Provincia del General Carrera, Undécima Región de Chile, entre las latitudes sur  $45^{\circ} 55' - 46^{\circ} 12'$  y longitudes oeste  $72^{\circ} 26' - 72^{\circ} 57'$ . La altitud varía entre los 500 y 1.500 msnm. El predio tiene una superficie de 27.190 ha, de las cuales 15.250 ha corresponden a bosque potencialmente productivo, una vez descontada la superficie con restricciones ambientales, legales y otras condiciones vegetacionales. Este potencial está referido a la producción de madera aserrada de lenga y, en forma secundaria a coihue de Magallanes. No se cuenta con infraestructura vial dentro del predio y es deficiente para acceder a él. El horizonte de planificación es de 30 años, dividido en 15 períodos de 2 años, por lo que corresponde a una planificación de tipo táctica (Nelson, 2001) y sus rendimientos anuales fueron establecidos según las expectativas productivas de la empresa. El problema se dividió en cuatro etapas: las primeras dos, abordan el objetivo uno, y las siguientes dos, el segundo objetivo. La etapa uno fue la definición de objetivos y criterios de zonificación. En una segunda etapa se aplicó estos criterios para realizar la zonificación del patrimonio y determinar su representación espacial. En la tercera etapa se formuló el problema de redes con el levantamiento de toda la información y se calculó los respectivos costos, para, en una última etapa, aplicar esta

información y definir la metodología que determina la programación de las cosechas en el tiempo (en la tercera y cuarta etapas se utilizó Network2000 y su algoritmo heurístico).

### **Definición de Criterios de Zonificación**

Sobre la base de los antecedentes de terreno recolectados (variables dendrométricas y dasométricas, tanto cualitativas como descriptivas) y la recopilación bibliográfica, se elaboró una descripción del escenario. Dicho escenario fue sometido al juicio de expertos y con estos resultados se definió los criterios de zonificación. Una vez establecidas las variables se procedió a especificar los indicadores y pesos relativos, que permitieran dar cuenta de su representación superficial. Este proceso fue realizado bajo el concepto de la Evaluación Multicriterio (EMC), definiendo los criterios que determinan que un esquema de manejo pueda o no ser aplicado a una unidad específica. Finalmente, con los criterios se construyó una matriz de evaluación en la que son integradas y definidas las unidades de gestión, denominadas cuarteles.

### **Aplicación de la Zonificación y Construcción de Polígonos**

Identificados los criterios y sus variables, fueron generados e intersectados los respectivos mapas para obtener un único valor a nivel de polígono, que definió su objetivo general de manejo. Todo el análisis y proceso de cartografía digital se realizó utilizando sistemas de información geográfica (SIG) y el programa ArcView3.2. Para efectos de simplificación, concluido este proceso se agrupó los polígonos adyacentes con igual objetivo, procurando formar unidades homogéneas de manejo a un tamaño adecuado para facilitar la gestión operativa (entre 5 y 40 ha). Dicho conjunto de polígonos bajo un mismo esquema de manejo se fue llamado cantón. Cada cantón cuenta con superficie, objetivo principal y parámetros dasométricos, como volumen y volumen aserrable. Estas unidades fueron la base para la aplicación del análisis económico realizado en las etapas siguientes.

### **Configuración del Modelo y Cálculo de Costos**

El problema de transporte se dibuja como una red de arcos y nodos, donde cada nodo representa la oferta de volumen, un destino o un punto de camino, y los arcos la conexión de cada nodo en la red. El programa considera la extracción de todo el patrimonio en el año que se le asigne, calculando los costos unitarios con el total del volumen asignado para ese año, e incluye una tasa de interés anual. Las variables de entrada que necesita el programa se distribuyen en dos tablas (Chung & Sessions, 2000). Una con todos los nodos que aportan volumen, el nodo de destino final, su volumen y año de cosecha (la variable de decisión es el año). La segunda tabla detalla la red de arcos que permite la extracción del volumen establecido, con los costos fijos y variables por unidad que signifique el movimiento a través de ese arco. Cada tramo o arco de camino habilita directamente, en forma total o parcial, uno o más cantones y por ese camino también podrán ser evacuados volúmenes provenientes de los arcos superiores. Por eso no se puede asignar costos de cosecha u operación que no sean de transporte a un arco de camino, ya que lo cargará a cada  $m^3$  que pase por él y son costos que deben ser cargados una sola vez. Como solución se creó un nodo ficticio para unir el nodo de oferta con el nodo de la red vial que lo evacua. La ventaja

de este método es que permite independizar los nodos y arcos que componen la red vial de los nodos y arcos que componen las ofertas.

La cobertura superficial de cada camino y el volumen a extraer fueron establecidos en función del equipo de maderero, la pendiente y sus respectivas distancias máximas de maderero. Se asumió que una vez cosechada una superficie, ésta quedaría automáticamente condicionada a un ciclo de corta específico, por lo que los sucesivos años de intervención quedaron en función de esta primera corta. Además se asumió que el volumen aserrable sería distribuido proporcionalmente respecto de la intensidad de corta según zonificación, que no cambiaría a lo largo del horizonte de planificación, por el estado avanzado de desarrollo del bosque. Se consideró un ciclo de corta de 20 años y se estableció un nodo "centro de oferta" por cada tramo de camino (un centro de oferta se define como la superficie y el volumen de los cantones adyacentes que un camino habilita de manera directa). Este proceso está resumido en las Figuras N<sup>o</sup>s 1a y 1b.

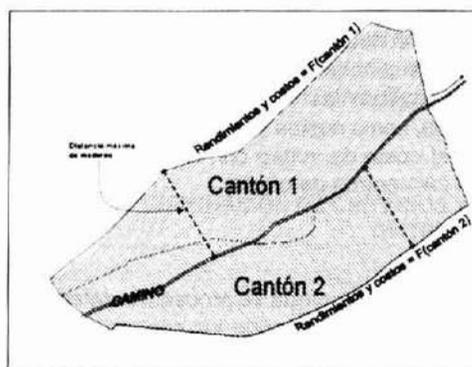


Figura N<sup>o</sup> 1a

**CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE OFERTA ASOCIADO AL RESPECTIVO CAMINO Y EN FUNCIÓN DE RENDIMIENTOS Y COSTOS PONDERADOS POR LA SUPERFICIE DE CADA UNO DE LOS CANTONES QUE LO CONSTITUYEN**

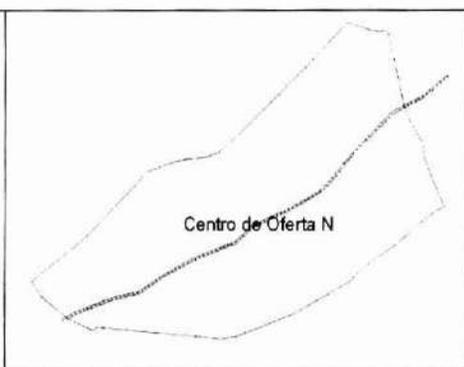


Figura N<sup>o</sup> 1b

**VOLUMEN Y COSTOS DE COSECHA VINCULADOS AL CENTRO DE OFERTA Y PREVIAMENTE RELACIONADO CON SUS RESPECTIVOS CANTONES**

Para el cálculo de los costos se utilizó el volumen disponible con resolución a la hectárea. El volumen total se ajustó según parámetros de sanidad y se obtuvo el volumen aserrable de lenga por cantón. Estos rendimientos en relación al volumen total coinciden con los antecedentes bibliográficos presentados por Schmidt y Urzúa (1982), citados por Loewe *et al.* (1997), que estiman que entre el 10 y 20% de las existencias del bosque se extrae como volumen aserrable. La red vial se construyó en una etapa previa utilizando el método del paso, con apoyo de mapas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50.000, y fotografías aéreas. La cartografía se complementó con los resultados del inventario y dirigió el trazado del camino en función de los principales sectores productivos, los equipos de

madereo disponibles y sus respectivas distancias máximas de madereo. Se consideró dos estándares de camino; de ripio para camiones de mayor tonelaje y de plataforma para camiones de tonelaje intermedio. Estos costos se incluyen en la tabla de arcos, como costos fijos de la red vial planificada. No se consideró los de mantención, debido a que éstos se asumen dentro de los costos de madereo. Se consideró madereo con torres, *skidder* huinche y yunta de bueyes, con sus respectivas características (Cuadro N° 1). Se calculó un promedio ponderado de costos de madereo por centro de oferta y se los asignó como costos variables.

**Cuadro N° 1**  
**DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MADEREO Y SUS CARACTERÍSTICAS**

Equipo	Distancia máxima (m)	Pendiente (%)	Observaciones
Torre	300	> 40 pendiente abajo	Bajo línea de camino
Skidder huinche	200	< 20	
Yunta de bueyes	150	> 40 pendiente arriba	Sobre línea de camino

Dentro de los costos también se consideró el flete, con un traslado en camión de tonelaje intermedio desde orilla de camino hasta una cancha de acopio, y un segundo flete realizado por camiones de mayor tonelaje para movilizar las trozas al destino final. Este costo se cargó a los arcos que componen la red vial, como costos variables. Finalmente, se consideró las respectivas cargas y descargas y el costo de volteo con motoserristas, que son incluidos también en los costos variables de los centros de oferta.

### Programación de la Secuencia de Cosecha

Una vez calculados los costos unitarios por centro de oferta se procedió a determinar la secuencia de cosecha en función del menor costo, seleccionando los centros de oferta hasta cumplir con los requerimientos volumétricos establecidos. Así sucesivamente cada periodo, para agregar la tasa de interés en una etapa final y obtener el valor presente neto del proyecto (VPN) y el desglose de los costos unitarios por bienio y centro de oferta.

## RESULTADOS

### Determinar las Variables que Definen la Zonificación del Patrimonio y Configuración de Cantones

Se caracterizó el recurso en función de parámetros físicos, no silvícolas. Se definió cuatro cuarteles con distintas intensidades de corta aplicadas sobre el bosque potencialmente productivo. Factores como flora y fauna, aunque relevantes, no siempre derivan en una zonificación del patrimonio o en la definición de objetivos, ya que ocurren de manera transversal; se pueden reflejar en políticas de manejo sin tener una representación superficial explícita. Las cortas sucesivas o de protección son el esquema de manejo que se recomienda aplicar para este Tipo Forestal (Schmidt & Urzúa, 1982; Loewe *et al.*, 1997). Con ello se favorece la regeneración y se satisfacen otros objetivos, como minimización del impacto visual y protección de flora y fauna. Los cuarteles definidos fueron:

- Producción sin restricciones (PROD)
- Producción con limitaciones y restricciones moderadas (PCL1)
- Producción con limitaciones y restricciones estrictas (PCL2)
- Protección o preservación (PROT)

El juicio de expertos determinó cuatro criterios en la representación territorial de los cuarteles:

- Sensibilidad a la erosión
- Pendiente
- Fragilidad por efecto de la nieve y heladas (reflejada en la altitud)
- Viento

La sensibilidad a la erosión fue configurada como una variable compuesta por cinco subvariables con distintos pesos relativos (CONAF-ONF, 1997): Pendiente (35%), exposición (25%), geomorfología (15%), tipo de suelo (15%) y profundidad de ceniza (10%). Esta última se incluyó debido a que es una zona sensible a la actividad volcánica. Con los cuatro criterios se construyó la matriz de evaluación, en la que se integran para definir los distintos cuarteles (Cuadro N° 2). Por lo tanto, cada polígono quedó asociado a un objetivo y a los criterios que lo definen (Figura N° 2).

**Cuadro N° 2**  
**DETERMINACIÓN DE CRITERIOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA DEFINICIÓN DE LOS DISTINTOS OBJETIVOS**

Susceptibilidad de erosión		Altitud (efecto por acumulación de nieve)									
		0 – 750 msnm				Mayor a 750 msnm					
		Viento		Con fragilidad : 1	Sin fragilidad : 0	Con fragilidad : 1		Sin fragilidad : 0			
Pendiente											
Baja	1	0 – 35%	1	PROD	1	PROD	2	PCL1	3	PROD	4
		35 – 60%	2	PROD	5	PROD	6	PCL1	7	PROD	8
		60 – 100%	3	PCL1	9	PCL1	10	PCL2	11	PCL1	12
		> 100%	4	PROT	13	PCL2	14	PROT	15	PCL2	16
Media	2	0 – 35%	1	PROD	17	PROD	18	PCL1	19	PROD	20
		35 – 60%	2	PCL1	21	PROD	22	PCL1	23	PCL1	24
		60 – 100%	3	PCL2	25	PCL1	26	PCL2	27	PCL2	28
		> 100%	4	PROT	29	PCL2	30	PROT	31	PROT	32
Alta	3	0 – 35%	1	PCL1	33	PROD	34	PCL2	35	PCL1	36
		35 – 60%	2	PCL1	37	PCL1	38	PROT	39	PCL2	40
		60 – 100%	3	PROT	41	PCL2	42	PROT	43	PROT	44
		> 100%	4	PROT	45	PROT	46	PROT	47	PROT	48

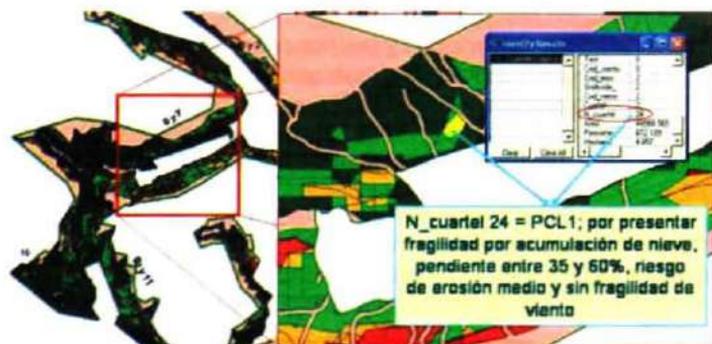


Figura N° 2  
CODIFICACIÓN EN FORMATO DIGITAL

La codificación en formato digital permite reconocer las características que definen cada uno de los polígonos. En la Figura N° 2, el polígono asume un valor de 24 (referido al Cuadro N° 2), donde presenta fragilidad por acumulación de nieve, pendientes entre 35% y 60% y riesgo de erosión medio.

### Análisis Económico y Programación de la Cosecha

Debido a que la zona de estudio presenta una forma irregular y topografía montañosa, el análisis de distintas alternativas de caminos y la evaluación de distintas rutas para la definición del trazado más corto o económico no fue aplicado. Incluso, algunos sectores de bosque potencialmente productivo no quedaron cubiertos, porque presentaban bajos rendimientos volumétricos o no contaban con acceso factible sin considerar una mayor inversión en infraestructura.

Con el cálculo del costo unitario de cada centro de oferta se procedió a descartar centros que presentaron un costo mayor al costo de compra puesto en la planta de aserrío y elaboración. Dichos centros de oferta tenían un balance negativo en la operación de extracción y construcción de caminos y se ubicaban principalmente en los tramos terminales o cabeceras de la red vial. Estos centros de oferta además afectan los costos y la rentabilidad de los caminos anteriores, que cuentan con ese flujo de volumen para amortizar sus respectivos costos fijos. Por lo tanto, se asumió holgura sobre el costo máximo, para no producir una descalificación sucesiva. Estos centros de oferta son los que condicionan la rentabilidad y además son los últimos en ser seleccionados. En la medida que se pretenda maximizar el proyecto forestal se debería tender a marginar los sectores que presentan un balance individual negativo. Esto no siempre ocurre, porque se conjugan los requerimientos industriales con los forestales, donde los centros de oferta se mantienen igual en el análisis global, para satisfacer metas volumétricas.

En una primera evaluación, el modelo estableció como centros de oferta de menor costo algunos que consideraban la construcción de un puente de envergadura mayor al

inicio del horizonte de planificación. Debido a condiciones de flujo financiero de la empresa, esta solución no era factible. Esa selección de centros de oferta se explica debido a la gran cantidad de volumen que sería evacuado por ese puente y que amortizaría su inversión. Por tal razón, el análisis se dividió en dos ejes; uno para los cantones que no requerían la construcción del puente y otro para los que sí. Dicha construcción se postergaría mientras los volúmenes del primer sector satisficieran los requerimientos de la empresa, lo que igualmente significó que el puente debería estar habilitado a partir del cuarto o quinto año de proyecto.

En una segunda evaluación del problema, la solución presentó una distribución espacial heterogénea, porque tendió a seleccionar todos los centros de oferta cercanos a los caminos de acceso principales. Este resultado no se consideró operativo, ya que la concentración de la faena de cosecha disminuye otros costos, como el movimiento de campamentos, personal y maquinaria. Se agrupó el patrimonio en 25 sectores en función de los distintos valles y los ejes secundarios que los evacúan. Cada eje secundario fue considerado como un sector y el programa se ejecutó nuevamente para determinar su *ranking* en base al menor costo unitario total (Cuadro N° 3).

Una vez determinada la secuencia de sectores a intervenir se ejecutó nuevamente el programa en el año cero, seleccionando la cantidad de centros de oferta de menor costo, por sector, necesarios para satisfacer los flujos periódicos requeridos por la empresa. Este proceso fue repetido hasta completar el horizonte de planificación. Como la asignación de años es de manera dirigida o forzada, cada vez que se cambia el año se genera un nuevo problema. Finalmente, con el problema de la asignación de los años de cosecha para las distintas ofertas resuelto, se ejecutó el programa considerando la tasa de interés y se obtuvo el resultado final, que incluye el costo unitario y total del proyecto actualizado.

En el ejercicio, el modelo no contempla la superficie involucrada, ya que considera las existencias volumétricas. Cada centro de oferta es alimentado a la vez por uno o más cantones, por lo que el volumen no tiene una representación superficial directa. Los cantones contienen la información de rendimientos y de esquemas de cosecha, y por lo tanto el ciclo de corta que le corresponde a cada uno, con sus respectivas intensidades. Esto significa que la decisión está referida en términos volumétricos, sin importar la superficie que efectivamente corresponde cosechar. Si se quiere mantener la información por cantón, cada uno debería ser considerado como unidad independiente o centro de oferta, sin olvidar el aumento de tamaño del problema.

Los flujos anuales establecidos no permiten cumplir con la obtención de un flujo volumétrico sostenido. Esto se explica principalmente por el largo del horizonte de planificación (30 años), en relación con la rotación esperada (80 años), y porque es muy difícil lograr la regulación del patrimonio en una primera rotación. Eso no significa que el proyecto sea inviable o no sostenible, pues la empresa cuenta con mayor patrimonio forestal y también porque existe un mercado de compra. Además tampoco fueron consideradas las ganancias potenciales en volumen aserrable que se pueden obtener en el largo plazo por actividades de manejo y por la incorporación del bosque secundario. Este argumento es muy importante en términos del capital de inversión y de las decisiones de abastecimiento de mediano plazo,



pudiendo disminuir los volúmenes anuales esperados del patrimonio, o considerar otras fuentes de abastecimiento para periodos con disminución de flujos.

**Cuadro N° 3**  
**SELECCIÓN DE SECTORES DE COSECHA SEGÚN COSTOS**

Eje	Camino o sector	Ranking	Costo variable (US\$/m <sup>3</sup> )	Costo fijo* (US\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (US\$/m <sup>3</sup> )
Principal sin puente	4	1	43,0	2,6	45,5
	3	2	45,0	1,9	46,9
	8	3	38,4	8,6	46,9
	1	4	44,1	3,6	47,7
	9	5	43,0	4,9	47,9
	7	6	45,3	4,4	49,6
	5	7	45,1	7,9	52,9
	6	8	44,6	8,5	53,1
	26	9	43,4	15,4	58,8
Principal con puente	15	10	37,4	9,5	46,9
	12	11	42,2	5,1	47,2
	11	12	39,4	8,2	47,6
	14	13	45,3	2,7	48,0
	27	14	40,9	9,8	50,7
	10	15	44,7	6,5	51,2
	25	16	45,0	7,4	52,4
	13	17	46,6	7,0	53,6
	17	18	42,4	12,9	55,3
	18	19	45,2	11,4	56,5
	16	20	43,7	13,3	57,0
	19	21	47,4	13,8	61,1
	21	22	55,7	10,9	66,6
	20	23	57,0	10,0	67,0
	31	24	56,0	18,9	74,9
23	25	61,7	20,9	82,6	

\* El costo fijo está transformado en costo variable equivalente, según el volumen que evacua.

El valor presente neto (VPN) varía de positivo a negativo si se considera una tasa de interés de 9 a 10%, presentando alta sensibilidad a cualquier incremento de costos o baja de los precios de venta (VPN 9% = US \$ 1.226). Este resultado, si bien es bajo, podría aumentar, ya que, según antecedentes históricos de la empresa, fueron subestimados los rendimientos esperados, pero podría disminuir, pues los costos de operación tienden a incrementarse debido a imprevistos como condición climática y dificultades de operación.

## CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue analizar la aplicación de herramientas prácticas para la planificación de una faena de cosecha en bosques primarios de lenga de la Undécima Región. En una primera etapa se aplicó el concepto de Evaluación Multicriterio para observar factores determinantes en las actividades a ejecutar y realizar un análisis económico del proyecto forestal en una segunda etapa.

El uso de la Evaluación Multicriterio y herramientas SIG permitió satisfacer el primer objetivo de determinación de variables, que pudieran definir distintas intensidades de manejo y que además tuvieran una representación cartográfica.

El uso de algoritmos heurísticos fue una buena alternativa para resolver problemas de planificación que consideran la inclusión de caminos. Además, el programa computacional entregó en forma amigable una serie de tablas con los principales resultados, lo que facilitó la interpretación del usuario. La presencia de patrimonio con infraestructura inadecuada, donde se tienen costos fijos significativos, es una situación típica del bosque nativo nacional. En la medida que se cuente con mayor información, como funciones de rendimiento, se podrá realizar análisis más exhaustivos y acceder a otros programas de planificación que aborden mejor el problema en términos de rendimiento sostenido y/o sustentabilidad.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto FDI-CORFO Modelos de Gestión Sostenible para Incorporar Bosques de Lenga de Aysén a la Producción Nacional y fue desarrollado por INFOR, en conjunto con la Corporación Nacional Forestal y la empresa particular Maderas de Aysén S.A., durante el período 2001 – 2004. Se agradece la participación de quienes colaboraron en el proceso del juicio de expertos, igualmente la colaboración de los Sres. Jorge Gayoso y Gonzalo Paredes, de la Universidad Austral de Chile, en el análisis de redes y la facilitación del programa computacional, y los valiosos comentarios a este documento de Cristian Palma y Verónica Emhart.

## REFERENCIAS

- Belton, V. & Stewart, T. J., 2001.** Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers. Boston, First Edition. 396 pp.
- Bettinger, P.; Graetz, D.; Boston, K.; Sessions, J. & Chung, W., 2002.** Eight Heuristic Planning Techniques Applied to Three Increasingly Difficult Wildlife Planning Problems. *Silva Fennica* 36(2): 561-584.
- Boston, K. & Bettinger, P., 1999.** An Analysis of Monte Carlo Integer Programming, Simulated Annealing, and Tabu Search Heuristics for Solving Spatial Harvest-Scheduling Problems. *Forest Science* 45: 292-301.
- CONAF-ONF., 1997.** Plan de Ordenación Reserva Nacional Malleco. 195 pp.



**Chung, W. & Sessions, J., 2000.** NETWORK 2000, A Program for Optimizing Large Fixed Variable Cost Transportation Problems. Disponible en: <http://www.cof.orst.edu/coffe/students/research/chung2/index.htm> (última consulta: septiembre 2006).

**Chung, W. & Sessions, J., 2003.** NETWORK 2000, A Program for Optimizing Large Fixed and Variable Cost Transportation Problems. In: Systems Analysis in Forest Resources: Proceedings of the 8th Symposium, Snowmass Village, Colo., 27 – 30 September 2000. Vol. 7 of the Managing Forest Ecosystems series. G. T. Arthaud and T. M. Barrett (technical compilers). Kluwer Academia Publishers: Dordrecht. Pp. 109-120.

**Crowe, K. A. & Nelson, J. D., 2005.** An Evaluation of the Simulated Annealing Algorithm for Solving the Area-Restricted Harvest Scheduling Model Against Optimal Benchmarks. Canadian Journal of Forest Research 35: 2500-2509.

**Diario Oficial de la República de Chile., 1999.** Ley 19.606. Establece Incentivos para el Desarrollo Económico de las Regiones de Aysén y de Magallanes, y de la Provincia de Palena. Ministerio del Interior. Publicada con fecha 14 de abril de 1999.

**Dueck, G., 1993.** New Optimization Heuristics: the Great Deluge and Record-to-Record Travel. Journal of Computational Physics 104: 86-92.

**Epstein, R.; Weintraub, A.; Sessions, J.; Sessions, B.; Sapunar, P.; Nieto, E.; Bustamante, F. & Musante, H., 2001.** PLANEX: a System to Identify Landing Locations and Access. In Proceeding of the International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, Seattle, Wash., 10 – 12 December 2001. College of Forestry, University of Washington, Seattle, Wash. Pp. 190-193.

**Gayoso, J.; Iroumé, A.; Paredes, G. & Valencia, R., 1991.** Análisis de Abastecimiento de una Planta de Celulosa en la Provincia de Valdivia. Informe de Convenio N° 186. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 168 pp. y anexos.

**Gayoso, J. & Iroumé, A., 1993.** Catastro de Caminos Prioritarios para el Abastecimiento de una Planta de Celulosa en la Provincia de Valdivia. Informe de Convenio N° 210. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 119 pp. y anexos.

**Gayoso, J.; Neculman, M. & Muñoz, R., 1995.** Proyecto de Cosecha Forestal. Predio La Esperanza. Inversiones Forestales S.A. Informe de Convenio s/n. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 50 pp. y anexos.

**Gayoso, J., 1997.** Bases para la Gestión Sustentable del Predio San Pablo de Tregua de la Universidad Austral de Chile. Tes. FLACAM VII Curso de Formación Ambiental, Cátedra de la UNESCO para el Desarrollo Sustentable. 99 pp. y anexos.

**Gayoso, J. & Muñoz, R., 2000.** Un Algoritmo Heurístico para Resolver la Asignación de Usos Alternativos en Áreas Rurales. Bosque 21(1): 3-12.

**Kangas, A.; Kangas, J. & Laukkanen, S., 2006.** Fuzzy Multicriteria Approval Method and its Application to Two Forest Planning Problems. Forest Science 52(3): 232-242.

- Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. & Vecchi, M., 1983.** Optimization by Simulated Annealing. *Science* 220(4598): 671-680.
- Lockwood, C. & Moore, T., 1993.** Harvest Scheduling with Adjacency Constraints: a Simulated Annealing Approach. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 468-478.
- Loewe, V.; Toral I., M.; Pineda B., G.; López L., C. & Urquieta N., E., 1997.** Monografía de Lenga, *Nothofagus pumilio*. Potencialidad de Especies y Sitios para una Diversificación Silvícola Nacional. INFOR-CONAF. 103 pp.
- Maness, T. & Farrell, R., 2004.** A Multi-Objective Scenario Evaluation Model for Sustainable Forest Management Using Criteria and Indicators. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 2004-2017.
- Martínez Pastur, G.; Lencinas, M.; Cellini, J.; Díaz, B.; Peri, P. & Vukasovic, R., 2002.** Herramientas Disponibles para la Construcción de un Modelo de Producción para la Lenga (*Nothofagus pumilio*) Bajo Manejo en un Gradiente de Calidades de Sitio. *Bosque* 23(2): 69-80.
- Mendoza, G. A. & Martins, H., 2006.** Multi-Criteria Decision Analysis in Natural Resource Management: A Critical Review of Methods and New Modelling Paradigms. *Forest Ecology and Management* 230: 1-22
- Nelson, J., 2001.** Assessment of Harvest Blocks Generated from Operational Polygons and Forest-Cover Polygons in Tactical and Strategic Planning. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 682-693.
- Nelson, J., 2003.** FPS-Atlas Database Manual Version 6. University of British Columbia, Vancouver, Canada. 84 pp.
- Pukkala, T. & Kurttila, M., 2005.** Examining the Performance of Six Heuristic Optimization Techniques in Different Forest Planning Problems. *Silva Fennica* 39(1): 67-80.
- Reeves, C. R. (ed.), 1993.** Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems. *Advanced Topics in Computer Science*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 320 pp.
- Schmidt, H. & Urzúa, A., 1982.** Transformación y Manejo de los Bosques de Lenga en Magallanes. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. *Ciencias Agrícolas* 11. Santiago, Chile. 62 pp.
- Schmidt, H.; Caldentey, J. & Gaertig, T. P., 1992.** Análisis Silvicultural de los Ensayos. XII Región. Informe Lenga 1992. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Corporación Nacional Forestal XII Región. 37 pp.
- Schmoldt, D. L.; Kangas, J. & Mendoza, G. A., 2001.** Basic Principles of Decision Making in Natural Resources and the Environment. Chapter One. Pp. 1-13. In: Schmoldt, D. L., Kangas, J., Mendoza, G. A. & Pesonen, M. (eds.) 2001. *Managing Forest Ecosystems. The analytical Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making*. Kluwer Academic Publishers. 305 pp.
- Sessions, J., 1987.** A Heuristic Algorithm for the Solution of the Variable and Fixed Cost Transportation Problem. In: *Proceedings, the 1985 Symposium on System Analysis in Forest Resources*. University of Georgia, Athens, GA. Pp. 324-336
- Zimmermann, H.-J., 2000.** An Application-Oriented View of Modeling Uncertainty. *European Journal of Operational Research* 122: 190-198.





# PREDICCIÓN DE VALORES GENÉTICOS VÍA REML/BLUP EN FAMILIAS DE *Eucalyptus cladocalyx* ESTABLECIDAS EN EL NORTE DE CHILE

Sandra Perret D.<sup>1</sup>; Freddy Mora P.<sup>2</sup>; María Paz Molina B.<sup>3</sup>

## RESUMEN

*Eucalyptus cladocalyx* es una especie con un importante potencial para la reforestación de zonas con déficit hídrico en Chile, debido a su capacidad de adaptación a estos ecosistemas, a las propiedades de su madera y a su calidad floral para la producción apícola. Programas de hibridación inter-específica utilizando esta especie han sido priorizados para mejorar características tales como densidad de la madera y la tolerancia al déficit hídrico en otras especies de *Eucalyptus* de interés económico.

En este trabajo, 49 progenies de *E. cladocalyx* fueron evaluadas en función del crecimiento en altura y diámetro a los 4 años de edad en un ensayo establecido en Los Vilos, IV Región. Las familias corresponden a polinización libre, con 47 de ellas provenientes de poblaciones naturales de Australia y 2 de plantaciones preexistentes en Chile. Un diseño de bloques completos al azar fue utilizado, con 30 bloques y una planta de cada familia por parcela. El método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) se utilizó para la estimación de componentes de varianza. Valores genéticos predichos, del efecto familiar, fueron determinados a través de la Mejor Predicción Lineal no Sesgada (BLUP) y en el análisis REML/BLUP se empleó el procedimiento de modelos lineales mixtos PROC MIXED de SASÆ.

El coeficiente de correlación de Spearman fue calculado para determinar la correlación entre valores genéticos de cada característica, con intervalos de confianza Bootstrap (5% de probabilidad). La heredabilidad *estricto sensu* fue alta para la altura y moderada para el diámetro, con valores de  $h^2 = 59,51 \pm 1,3$  y  $h^2 = 35,34 \pm 0,8$  respectivamente, indicando una alta posibilidad de ganancia genética con fines de selección entre familias de la especie. Los valores de altura promedio de las mejores diez familias variaron desde 3,70 a 4,48 m, correspondientes a las procedencias de Remarkable y Wirrabara, respectivamente. El coeficiente de correlación de Spearman entre los valores BLUP de la altura y el diámetro fue alto y significativo ( $r_s = 91,11 \pm 0,26$ ) indicando una fuerte correlación genética entre las variables, siendo útil para fines de selección considerando ambas características simultáneamente. En función de los valores BLUP se destacan las procedencias de Wirrabara, Flinders Chase y Remarkable. Las familias de origen nacional no serían consideradas en el proceso de selección debido a su bajo crecimiento.

**Palabras claves:** BLUP, REML, Componentes de Varianza, *Eucalyptus cladocalyx*, modelos mixtos, semiárido, mejoramiento genético.

<sup>1</sup> Instituto Forestal – INFOR Sede Diaguitas, Chile [sperret@infor.gob.cl](mailto:sperret@infor.gob.cl)

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Maringá-Paraná, Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Forestal – INFOR Sede Bio Bio, Chile.



## PREDICTION OF GENETIC VALUES USING REML/BLUP IN OPEN-POLLINATED FAMILIES OF *Eucalyptus cladocalyx* ESTABLISHED IN NORTHERN CHILE

### SUMMARY

*Eucalyptus cladocalyx* is an important tree species for the arid and semiarid zones of northern Chile, due to its capacity of adaptation to these dry-lands. It has excellent wood properties for different purposes and good flowering for honey production. A large inter-specific hybridization program has been undertaken by the Forest Institute (INFOR) using this species to improve wood and growth properties (basic density and drought hardness) of other *Eucalyptus spp* of economic interest for the semiarid zone.

In this work, 49 families of *E. cladocalyx* were assessed on a site localized at Los Vilos, IV Region; total height and diameter were the growth traits under analysis at 4-year-old trees. The progeny trial included 47 families originating from natural populations of Australia and 2 from local sub-race plantations. A complete randomized block design was used, with 30 blocks. The **Restricted Maximum Likelihood (REML) method** was utilized for variance components estimation. Predicting breeding values, family effects, were determined by Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) procedure. The REML/BLUP analysis was run using the mixed lineal models procedure, PROC MIXED of SAS<sup>®</sup>.

Spearman rank correlation coefficient was calculated to determine the correlation among genetic values ranks of each economical trait, with intervals of confidence Bootstrap (95% of probability). The narrow-sense heritability was high and moderate for total height and diameter, respectively, with values of  $h^2 = 59.51 \pm 1.3$  and  $h^2 = 35.34 \pm 0.8$  respectively, indicating a high possibility of genetic gain by selecting families of the species. The mean height values of the ten best families varied from 3.70 to 4.48 m, which corresponded to Remarkable and Wirrabara provenances, respectively. Spearman correlation coefficient calculated between height and diameter rank, by using BLUP, was high and significant ( $91.11 \pm 0.26$ ) indicating a strong association among the traits, which is useful for selection considering both traits simultaneously. Based on BLUP ranks the best seed origins correspond to Wirrabara, Flinders Chase and Remarkable. The families of local sources would not be selected due to their low growth.

**Keywords:** BLUP, REML, Variance Components, *Eucalyptus cladocalyx*, semiarid, mixed models, genetic improvement.

## INTRODUCCIÓN

*Eucalyptus cladocalyx* ha sido plantado en el sur de Australia, principalmente para protección de suelos contra la erosión, producción de postes, cortinas cortavientos y con fines ornamentales. La especie se introdujo con éxito en Sudáfrica, África del Norte, España y Portugal, en donde existen plantaciones en áreas de suelos pobres y con escasa precipitación (Mora y Perret, 2002).

El rápido crecimiento, la buena capacidad de retoñación y los bajos requerimientos de suelo, son algunas de las características que posee *Eucalyptus cladocalyx* que la hace una especie apta para la zona árida de Chile. Según Prado y Barros (1989) la especie crece en suelos arenosos y gravosos, de profundidad moderada a delgada, de baja fertilidad, neutros y ácidos, y posee una moderada tolerancia a la salinidad.

Pocas especies del género *Eucalyptus* son consideradas útiles para la reforestación de áreas con sequías frecuentes o con baja disponibilidad de lluvia (Hardwood *et al.* 2001). Una de ellas es *Eucalyptus cladocalyx* la cual está siendo considerada en programas interespecíficos de hibridación para mejorar características como tolerancia al déficit hídrico (Mora, Palma y Jara, 2005; Potts *et al.* 2001). En estos programas es fundamental conocer el valor genético de los genotipos en orden a seleccionar el material que servirá de base para evaluar su combinación híbrida.

Existen diversos parámetros que permiten determinar el control genético asociado a alguna característica de interés. Entre las estimaciones más relevantes se encuentra la heredabilidad. El concepto de heredabilidad es uno de los más importantes y más usado en genética cuantitativa. El valor de la heredabilidad expresa la proporción de la variación en la población que es atribuible a diferencias genéticas entre individuos. La heredabilidad es de importancia clave para estimar las ganancias que se puede obtener en los programas de selección (Zobel y Talbert, 1984).

Aunque los ensayos de progenie de especies forestales, como los de *Eucalyptus*, se establezcan en zonas climáticamente similares, se puede esperar cierto nivel de interacción genotipo-ambiente debido a diferencias en el tipo de suelo, historia del sitio y prácticas antrópicas (Balmelli, 2000).

Una de las metodologías más difundidas, por la cual se estiman parámetros genéticos, es la máxima verosimilitud restringida (REML) (*restricted maximum likelihood method*). Este método, conjuntamente con la predicción de valores genéticos por medio de la «mejor predicción lineal no sesgada» (BLUP), permite mejores evaluaciones en la presencia de datos no balanceados (Searle *et al.* 1992), aspecto común en la investigación forestal. En estos métodos los componentes de variación y los valores genéticos se pueden obtener mediante procedimientos uni y multivariados. En el univariado los datos se pueden ajustar por modelos mixtos, con o sin ajuste para la interacción. En el multivariado, los datos de un carácter, evaluado en diferentes sitios o localidades, se pueden analizar como un mismo carácter (Resende, 1999).

En modelos mixtos, la mejor predicción lineal no sesgada (BLUP) de los efectos aleatorios es obtenida por medio de la maximización de la función de densidad conjunta que considera los efectos fijos y aleatorios del modelo. El sistema de ecuaciones de modelos mixtos permite obtener además la mejor estimación lineal no sesgada (BLUE) para los efectos fijos.

En orden a obtener las estimaciones y predicciones de los efectos fijos y aleatorios, identificados en el modelo mixto, es necesario obtener los componentes de varianza, los cuales pueden ser estimados por el método REML disponible en los procedimientos MIXED (*mixed linear model*) y VARCOMP (*variance component*) de SASÆ (Mora *et al.* 2005; Mora y Arnhold, 2006).

Debido a la importancia que reviste el desarrollo de plantaciones operacionales de *Eucalyptus cladocalyx* en la zona árida de Chile, se desarrolló la presente investigación, que tuvo como objetivo principal estimar parámetros genéticos en 49 familias de medio-hermanos de *Eucalyptus cladocalyx*, de 4 años de edad en un ensayo genético establecido en el norte de Chile.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En septiembre del año 2001 se estableció una prueba de progenies, de cuarenta y nueve familias de medio-hermanos (*half-sibs*) de *Eucalyptus cladocalyx*, en la IV Región de Chile; 47 familias provenientes de poblaciones naturales de Australia y 2 familias provenientes de fuentes de semilla nacional.

Los sitios de colección en Australia variaron en latitud desde 32° 43' S a 35° 57' S (Cuadro N° 1). La localización de los sitios de colección de las familias de origen nacional es indicada en el Cuadro N° 2.

**Cuadro N° 1**  
**RESUMEN DE LAS FAMILIAS DE**  
***Eucalyptus cladocalyx* PROVENIENTES DE AUSTRALIA**

Código	Lugar Origen	N° de Familias	Latitud (Lat S)	Longitud (Long O)	Precipitación (mm/año)
20388	MT Remarkable	16	32° 43 00	138° 06 00	242,8
20411	W Of Cowell	10	33° 38 30	136° 40 58	405,0
19349	Marble Range	4	34° 30 09	135° 30 44	485,1
20389	Wirrabara SF	9	33° 06 10	138° 14 04	256,6
20267	Flinders Chase NP	8	35° 57 00	136° 42 00	637,9

**Cuadro N° 2**  
**RESUMEN DE LAS FAMILIAS DE**  
***Eucalyptus cladocalyx*, FUENTE DE ORIGEN CHILE**

Código	Lugar Origen	N° de Familias	Latitud (Lat S)	Longitud (Long O)
I-9	Illapel	1	31° 40' 46"	071° 14' 55"
CC-8	Comunidad Agrícola Cabra Corral, Comuna Illapel.	1	31° 34' 08"	071° 20' 75"

El ensayo se estableció en la Comuna de los Vilos, Provincia del Choapa, en terrenos de la Hacienda Agrícola Caracas (31° 55' 05" LS; 71° 27' 10" Long W; 167 m de altitud). El diseño fue de bloques al azar, con parcelas de un árbol (*single tree plots*), con 30 bloques. Todos los árboles fueron plantados a un espaciamiento de 2 m x 3 m. La caracterización ambiental es descrita en el Cuadro N° 3.

**Cuadro N° 3**  
**RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL SITIO**

Ensayo	Comuna	Distrito Agroclimático* (N° y nombre)	Ubicación General	Precipitación Media anual (mm)	Evapo-transpiración Anual (mm)	Temperatura Media anual (°C)	Periodo libre de heladas (días)	Temperatura (°C)	
								(1)	(2)
Hacienda Caracas	Los Vilos	III / Amolanas -Los Vilos	Litoral	201,1	1100-1200	14,1	345	7,0	24,1

\* Caldentey (1987)

(1): Mínima media del mes más frío, julio.

(2): Máxima media del mes más cálido, enero.

Los caracteres de crecimiento que se midió fueron altura total y diámetro a la altura del pecho (DAP). Ambas características de crecimiento fueron medidas a los 4 y 6 años de edad.

### Máxima Verosimilitud Restringida (REML)

Para la determinación de los componentes de varianza vía REML se utilizó el siguiente modelo lineal mixto:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + B_j + e_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  es la observación (correspondiente a una característica de crecimiento) del k-ésimo árbol en la i-ésima familia ubicada en el j-ésimo bloque

$\mu$  es el promedio total

$F_i$  es el efecto aleatorio de la i-ésima familia

$B_j$  es el efecto fijo del j-ésimo bloque

$e_{ijk}$  es el efecto residual aleatorio



## Valores Genéticos

En términos matriciales el modelo que describe las respuestas del crecimiento de los árboles, es dado por:

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

Donde:

$y$  es " vector de las respuestas observadas

$X$  es la matriz de diseño de los efectos fijos

$\beta$  corresponde al vector de parámetros de efectos fijos (bloques)

$Z$  es la matriz de incidencia de los efectos aleatorios

$\gamma$  es el vector de efectos aleatorios

$\varepsilon$  es el vector de residuos.

Se asume que  $\gamma$  y  $\varepsilon$  son independientes y tienen distribución normal univariada con media 0 y matriz de varianzas  $G$  y  $R$ , respectivamente.

Los valores estimados,  $\hat{\beta}$ , y los valores predichos,  $\hat{\gamma}$ , que son los mejores estimadores lineales no sesgados (BLUE) de los efectos fijos, y la mejor predicción lineal no sesgada (BLUP) de los efectos aleatorios, respectivamente, se derivaron a partir de las ecuaciones de modelos mixtos:

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

Los cuales pueden ser escritos de la forma:

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

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

Donde " $^{-1}$ " es una inversa generalizada.

Los valores Genéticos predichos, del efecto familiar fueron determinados a través del procedimiento de modelos lineales mixtos, PROC MIXED de SAS®, dado que este procedimiento proporciona los errores estándares adecuados a cada nivel de análisis, realizando las comparaciones de media en la forma correcta para el tipo de diseño del ensayo.

Con el fin de determinar la correlación existente entre los valores genéticos para cada característica, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, con intervalos de confianza Bootstrap (5% de probabilidad). SURVEYSELECT y CORR fueron los

procedimientos de SASÆ utilizados para los cálculos de correlación de Spearman entre características, con su respectivo intervalo de confianza.

## RESULTADOS

La Heredabilidad en sentido estricto fue alta para la altura y moderada para el diámetro, con valores de  $h^2 = 59,51 \pm 1,3$  y  $h^2 = 35,34 \pm 0,8$  respectivamente, indicando una alta posibilidad de ganancia genética con fines de selección entre familias de la especie (Cuadro N° 4). Dado que los ensayos evaluados están cercanos a la mitad de la edad de rotación, considerando producción de postes y polines (madera para uso primario), es de esperar que los valores obtenidos para la heredabilidad se mantengan en el tiempo, aumentando la certeza de la selección familiar.

Cuadro N° 4

### ESTIMATIVAS DE MÁXIMA VEROSIMILITUD RESTRINGIDA (REML) PARA LOS COMPONENTES DE VARIANZA

Estimativas REML	Características	
	Altura	Diámetro
Varianza aditiva	1,331	188,051
Varianza residual	0,906	344,110
Varianza fenotípica	2,237	532,161
Heredabilidad <i>estricto sensu</i>	<b>0,5951</b>	<b>0,3534</b>
Error estándar heredabilidad	0,013	0,008

**Cuadro N° 5**  
**VALORES GENÉTICOS PREDICHOS (BLUP) POR CARACTERÍSTICA DE LAS MEJORES DIEZ**  
**FAMILIAS DE *Eucalyptus cladocalyx***

Característica	Procedencia	Familia	BLUP	Promedio
Altura (cm)	Wirrabara	32	1,30	4,48
	Wirrabara	39	0,99	4,16
	Flinders Chase	47	0,93	4,09
	Flinders Chase	42	0,92	4,08
	Flinders Chase	43	0,91	4,08
	Flinders Chase	44	0,82	3,98
	Flinders Chase	48	0,81	3,96
	Wirrabara	36	0,70	3,85
	Wirrabara	40	0,67	3,82
	Diámetro (mm)	Remarkable	3	0,56
Wirrabara		32	14,98	77,83
Wirrabara		39	12,89	75,73
Flinders Chase		43	12,76	75,58
Flinders Chase		42	11,33	73,75
Wirrabara		36	10,66	72,91
Remarkable		6	9,57	71,64
Flinders Chase		45	8,15	70,06
Wirrabara		40	7,92	69,70
Remarkable		16	7,69	69,48
Flinders Chase	47	6,95	68,62	

En el Cuadro N° 5 se puede observar que los valores de altura promedio de las mejores diez familias varió desde 3,70 a 4,48 m, correspondiendo estas a las procedencias de Remarkable y Wirrabara, respectivamente. En función de los valores BLUP se destacan las procedencias de Wirrabara, Flinders Chase y Remarkable. Las familias de origen nacional no serían consideradas en el proceso de selección debido a su bajo crecimiento. McDonald et al. (2003) afirman que *Eucalyptus cladocalyx* crece naturalmente en tres zonas separadas del sur de Australia: Área de Flinders Ranges, incluyendo la región de Wirrabara, Eyre Peninsula y Kangaroo Island. Originalmente en el área de Flinders Ranges la especie sobrepasa los 35 m de crecimiento en altura y, contrariamente, en Eyre Peninsula un número modesto de árboles pueden crecer más allá que 15 m, y los árboles que crecen en Kangaroo Island muestran un crecimiento intermedio.

El Coeficiente de correlación de Spearman entre los valores BLUP de la altura y el diámetro fue alto y significativo ( $r_s = 0,91 \pm 0,026$ ) indicando una fuerte correlación genética entre las variables, siendo útil para fines de selección considerando ambas características simultáneamente.

## CONCLUSIONES

Se confirma la superioridad de las familias provenientes de la localidad de Wirrabara, a su vez, diversas familias provenientes de Flinders Chase y Remarkable, también serían interesantes para el proceso de selección familiar, como parte de la estrategia de mejoramiento de *Eucalyptus cladocalyx*.

Las familias de origen nacional no serían consideradas en el proceso de selección debido a su bajo crecimiento. Esto confirma la importancia de la introducción de germoplasma para fines de selección y mejoramiento forestal.

## REFERENCIAS

- Balmelli, G., 2000.** Genetic Parameter Estimates for Growth Traits in *Eucalyptus grandis*: Some Implications for Breeding and Commercial Seed Production. En: *Proceedings of Forest Genetics for the Next Millennium*:65-68. IUFRO Working Party, Durban - South Africa.
- Caldentey, J., 1987.** Distritos Agroclimáticos de la IV Región. Santiago: CONAF/PNUD/FAO. 68p.
- Hardwood, C.; Bulman, P.; Bush, D.; Mazanec, R. and Stackpole, D., 2001.** Australian Low Rainfall Tree Improvement Group: Compendium of Hardwood Breeding Strategies. Kingston: RIRDC. 148p.
- McDonald, M.W.; Rawlings, M.; Butcher, P.A. and Bell, J.C., 2003.** Regional Divergence and Inbreeding in *Eucalyptus cladocalyx* (Myrtaceae). *Australian Journal of Botany* vol.51, p.393-403.
- Mora, F. y Arnhold, E., 2006.** Inferencia Bayesiana y Metodología de Modelos Lineales Mixtos Aplicados al Mejoramiento del Maíz. *Ciencia e Investigación Agraria*, 33(3):217-223.
- Mora, F.; Palma-Rojas, C. y Jara-Seguel, P., 2005.** Comparación del Cariotipo de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus cladocalyx* (Myrtaceae). *Agricultura Técnica*. v.65, n.1, p.20-25.
- Mora, F.; Scapim, C.A.; Perret, S.; Deitos, A.; Dandolini, T. y Astorga, M., 2005.** Componentes de Variância e Correlações, Via REML, em Acessos de *Acacia saligna* (Leguminosae). *Arquivos da Apadec*, 9 (Supl.1), p.31-32.
- Mora, F. y Perret, S., 2002.** *Eucalyptus cladocalyx* en la Región de Coquimbo: Especie Maderera para el Negocio Frutícola. *Revista Tierra Adentro* Vol. 46, p.28-29.
- Prado, J.A. y Barros, S., 1989.** Eds. *Eucalyptus: Principios de Silvicultura y Manejo*. Santiago, Chile, INFOR-CORFO. 199 p.
- Potts, B.M.; Barbour, R.C. and Hingston, A.B., 2001.** Genetic Pollution from Farm Forestry: Using *Eucalyptus* Species and Hybrids. Kingston: RIRDC.108p.
- Resende, M.D., 1999.** Predição de valores genéticos, componentes de variância, delineamentos de crescimento e estrutura de populações no melhoramento florestal. Tesis (Doctorado en Genética) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 434 p.
- SAS Institute, 1996.** *Statistical Analysis System: User's Guide*. Cary: SAS Institute, 956p.

**Searle, S.R., Casella, G., Mcculloch, C.E. 1992.** Variance Components. New York: Jonh Wiley & Sons, 501p.

**Zobel, B. and Talbert, J., 1984.** Applied Forest Tree Improvement. Jonh Wiley & Sons. New York, 505 p.

---

## ENSAYOS DE HIBRIDACIÓN ARTIFICIAL OSP en *Eucalyptus globulus* y *E. camaldulensis* CON ESPECIES TOLERANTES AL DÉFICIT HÍDRICO

Patricio Rojas<sup>1</sup>, Sandra Perret<sup>1</sup> y María Paz Molina<sup>2</sup>

### RESÚMEN

La especie más importante para la producción de pulpa y celulosa de fibra corta en Chile es *Eucalyptus globulus* debido a sus excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas de la madera y su rápido crecimiento. En los mejores sitios la productividad puede alcanzar 40 m<sup>3</sup>/ha/año considerando material genéticamente mejorado, como clones o familias de hermanos completos (*full-sib families*). Sin embargo, la presencia de heladas en la zona centro sur del país y el extenso período seco de la zona centro norte son factores limitantes de importancia para el establecimiento de plantaciones con la especie, o la extensión de su cultivo en otros ambientes forestales. INFOR ha desarrollado un largo y extenso programa de investigación desde la década de los sesenta, incluyendo la selección de especies, procedencias, familias y clones en diferentes unidades edafoclimáticas del país. Como consecuencia, en la zona árida de Chile, donde las precipitaciones anuales varían entre 100 y 250 mm, *E. camaldulensis*, *E. cladocalyx* y *E. sideroxylon* han sido seleccionadas para la repoblación forestal de sitios considerados marginales en las zonas áridas con tendencia mediterránea, las que son denominadas como especies "bases".

Estas especies presentan una comprobada tolerancia al déficit hídrico, pero naturalmente, debido a las condiciones climáticas en las que son establecidas, los árboles presentan una o varias características restrictivas para su uso industrial, como lento crecimiento (4 - 7 m<sup>3</sup>/ha/año), forma de los árboles, o las propiedades tecnológicas de la madera. El diseño y establecimiento de una matriz de cruzamientos híbridos entre las especies bases y aquellas como *E. globulus*, denominadas como especies "mejoradoras", forma parte de una estrategia de selección genética con fines de mejoramiento de características múltiples. *E. camaldulensis* es una especie que ha presentado comprobada tolerancia a climas semiáridos, cuando ha sido comparada con otras especies del género, posee una alta variabilidad genética por lo cual ha sido plantada extensivamente en diferentes partes del mundo. Su madera es de alto poder calorífico (4.800 kcal/kg), pero la alta concentración de extraíbles de la madera (lignina) limita su uso industrial como materia prima para la industria de la celulosa y el papel.

Aunque existen herramientas biotecnológicas para la recombinación genética entre especies, de alta tecnología, como fusión de protoplastos, transferencia de genes y otras, éstas son de elevado costo y requieren de equipamiento altamente tecnológico, entre otros aspectos. Por ello, se ha propuesto una tecnología de hibridación artificial más apropiada a los recursos existentes en la zona semiárida de Chile, por su bajo costo y factibilidad de implementación.

<sup>1</sup> Sede Diaguitas, La Serena IV Región. parojas@cl, sperret@infor.cl

<sup>2</sup> Unidad de Biotecnología, Concepción, VIII Región mmolina@infor.cl

Investigación financiada por FDI/CORFO. Proyecto tecnológico "Desarrollo de plantaciones forestales económicamente rentables con individuos resistentes al déficit hídrico y de alta productividad en la zona semiárida de la IV Región".

El presente trabajo resume los resultados obtenidos con la aplicación de la polinización en una sola visita (*one stop pollination*) en madres de *E. globulus* y *E. camaldulensis* para la generación de semillas híbridadas. La semilla obtenida de los cruzamientos será probada en ensayos de progenies híbridadas y también empleada como plantas madres para su propagación clonal y posterior uso en programas operacionales de plantación.

**Palabras claves:** *Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus*, hibridación, zonas semiáridas.

## POLLINATION TRIALS USING OSP TECHNIQUE ON *Eucalyptus globulus* AND *E. camaldulensis* WITH DROUGHT RESISTANT *Eucalyptus* SPECIES

### SUMMARY

One of the most important exotic species for pulp and paper production in Chile is *Eucalyptus globulus* due to exceptional chemical and physical wood properties and tree fast growing. In the best sites (costal and mild temperate zones of the south of Chile) with the right silviculture technology and improved genetic material (controlled crosses seed, elites clones propagated by cuttings) the species can achieve more than 40 m<sup>3</sup>/ha/year.

Nevertheless, there are some limitations to extend commercial plantations for other zones in Chile. Frost damage is the main problem for planting in the south and a long dry season in the north and interior valleys (called "secano"). INFOR which is the forest research branch of the Chilean state has been developing a large tree breeding program that included species / provenance / progeny trials, o.p. family's selections and elite clones for different soil and climatic conditions.

INFOR has selected three species denominated "base species": *Eucalyptus camaldulensis*, *E. cladocalyx* and *E. sideroxylon* for the semiarid zone with an annual rainfall less than 100 mm which show good adaptation to drought and soil conditions, but have one or more restrictions for industrial and commercial uses like slow growth (4 - 7 m<sup>3</sup>/ha/year), deficient form of the trees and low quality of wood properties.

Based on genetic strategies to improve drought tolerance of genotypes, a controlled cross matrix was designed with bases species and those like considered as "improved species" using OSP technique. Reciprocal crosses considered *E. camaldulensis* which is well adapted to drought and has a high genetic variability. The species has been widely planted in the world for bioenergy due to high calorific wood properties, nevertheless a high wood lignin content limits the use for pulp and paper industry.

Considering the high cost of emergent technological tools, like protoplast fusion and genetic transformation for gene recombination of selected material between species, the proposed technique for artificial hybridization is closer of social reality of the semiarid zone of Chile due to low cost and feasibility of implementation.

This paper shows preliminary results of hybrid seedlings and clones obtained by using OSP technique on *E. globulus* and *E. camaldulensis* females that will be planted on progeny and clonal trials for operational production using mother plants.

**Key Words:** *Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus*, hybridization, semiarid zones

## INTRODUCCIÓN

El programa de hibridación de *Eucalyptus* de INFOR tiene como objetivo generar semillas de cruzamientos interespecíficos por polinización artificial entre especies con algún potencial económico para las zonas semiáridas de Chile. La semilla de cruzamientos será probada en ensayos de progenies híbridas y también empleada como plantas madres para su propagación por estacas.

Para ello, INFOR ha seleccionado especies que han demostrado buena adaptación a zonas que presentan déficit hídrico y que además su madera presenta propiedades tecnológicas de interés comercial. Entre las especies potenciales para las zonas semiáridas se ha seleccionado especies bases y mejoradoras<sup>1</sup> de acuerdo a los resultados de ensayos de progenies/procedencias de INFOR como: a) *Eucalyptus camaldulensis*, especie de gran resistencia a climas semiáridos y de alta variabilidad genética en su distribución natural. La madera es de alto poder calorífico (4.800 Kcal/kg), pero su alta concentración de extraíbles (lignina) dificulta su uso industrial para la producción de pulpa. La especie se propaga fácilmente por estacas y su hibridación artificial con otras especies también ha resultado exitosa. La especie es muy afín con *Eucalyptus tereticornis* según su taxonomía. La mejor procedencia probada en Chile y otras latitudes de climas templados es Lake Albakutya, material sobre el que se ha concentrado los cruzamientos híbridos del presente programa. b) *Eucalyptus sideroxylon*, ha demostrado buenos resultados de adaptación a sitios con déficit hídrico, sin embargo la forma y el crecimiento evaluado en parcelas experimentales ha sido menor que otras especies forestales probadas en ambientes áridos. La corteza es rica en taninos y su madera es muy densa, llegando a valores cercanos a los 1.000 g/cm<sup>3</sup>, y c) *Eucalyptus cladocalyx* que constituye la especie de mayor potencial para la zona semiárida de Chile, debido a la forma, crecimiento de los árboles y propiedades tecnológicas de su madera. La especie, sin embargo, presenta incompatibilidades genéticas asociadas al número y forma de los cromosomas para el cruzamiento con otras especies del mismo género (Ruggeri, 1961; citado por Eldridge *et al.*, 1993)

Entre las especies consideradas "mejoradoras" de las características de crecimiento y de las propiedades tecnológicas de la madera se encuentra *Eucalyptus globulus*, de gran adaptación en Chile en zonas con precipitación anual superior a los 500 mm y sin presencia de heladas. Esta especie es de gran importancia industrial debido a las excelentes propiedades de su madera para la producción de pulpa. La especie presenta incompatibilidades unilaterales para el cruzamiento con especies de flores pequeñas, por lo cual es necesario efectuar diversos tratamientos al estilo de la flor para asegurar la fecundación de los óvulos de las especies receptoras (Potts, 2003). El objetivo de la estrategia de mejoramiento es generar semilla híbrida de *Eucalyptus* a través del sistema de polinización en una sola visita (OSP) (Harbard, 1999), ya sea en flores de *E. globulus* o *E. camaldulensis* como madres. El objetivo de la hibridación en flores de *E. camaldulensis* es mejorar sus características de crecimiento y propiedades de la madera. La hibridación basada en *E.*

<sup>1</sup> Especies bases: de gran adaptación a condiciones de secano, pero con limitaciones de crecimiento y/o propiedades tecnológicas de la madera, por ej. *E. camaldulensis*. Especies mejoradoras: buen crecimiento, propiedades tecnológicas de la madera, pero con poca tolerancia a la sequía, por ej. *E. globulus*

*camaldulensis* es una estrategia válida para las zonas semiáridas, debe sin embargo notarse que las experiencias de híbridos  $F_1$  (dependiendo de los genotipos usados como polen) pueden ser en algunos casos menos resistentes a la sequía que las especies puras, lo cual debe ser comprobado en los ensayos de progenies híbridas.

Algunas investigaciones realizadas en Australia señalan que la resistencia al *stress* hídrico es intermedia entre los padres. Por ejemplo el híbrido  $F_1$ , *E. camaldulensis* x *E. grandis* puede ser de mejor forma que *E. camaldulensis*, pero sucumbir a un *stress* hídrico más rápidamente. Según Bush (Comunicación personal, 2004)<sup>2</sup>, la estrategia más razonable es la propagación clonal o el cruzamiento controlado entre los mejores individuos (CP) de las mejores familias. Según otros autores una forma de fijar características deseables en los genotipos híbridos es efectuar "retrocruzamientos" o "backcrossing". De esta forma el polen colectado en las progenies híbridas es cruzado con el progenitor de mayor valor comercial, por ejemplo cruzar el polen híbrido *E. camaldulensis* x *E. globulus* sobre madres de *E. globulus* en una segunda generación ( $F_2$ ). El nivel de inversión económica en un programa de hibridación debe ser ponderado en función de los sitios potenciales de plantación.

## OBJETIVOS

El objetivo de la investigación es explorar la factibilidad de producir semilla híbrida de *E. globulus* y *E. camaldulensis* a través del sistema de polinización en una sola visita. Para este propósito se evalúa en las madres de *E. globulus* el efecto de la madre (clon), el genotipo del polen, el tipo de yema floral, diferentes tipos de cortes en el estilo/estigma de la flor y el efecto del aislante. En el caso de los cruzamientos en *E. camaldulensis* se evalúa el efecto del estadio floral y del aislante usado.

## MATERIAL Y MÉTODO

### El Sistema de Polinización Artificial de una sola Visita OSP (*One Stop Pollination*)

Los sistemas tradicionalmente usados en la polinización artificial demandaban al menos tres visitas al árbol, la primera para determinar la receptividad del estigma para efectuar la polinización, la segunda para emasculiar, polinizar y aislar la flor y la tercera para retirar los aislantes de la flor para evitar la contaminación. El desarrollo de una nueva tecnología, iniciada en Chile y simultáneamente en Australia en la década de los noventa (Harbard *et al*, 1999; Williams *et al*, 1999), permitió reducir a una sola visita estas tres operaciones, reducir drásticamente los costos de las polinizaciones artificiales y permitir la producción de semillas híbridas (intraespecíficas) a gran escala. De esta forma las principales empresas forestales del país producen semillas de cruzamientos controlados "*full sib*" de los clones de mayor ranking genético de los huertos, constituyendo una alternativa a la plantación de clones.

<sup>2</sup> David Bush, CALM, Australia. Visit Report to Chile, INFOR. 28<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> May, 2004.



Trabajo Polinización OSP



Flor en Ántesis *E. globulus*



Flor Polinizada OSP

### Figura N° 1 POLINIZACIÓN ARTIFICIAL

La tecnología OSP se sustenta en lo siguiente : a) no es necesario esperar el proceso natural de maduración del estigma para su receptividad del grano de polen y asegurar el éxito de la fertilización de los óvulos y b) el uso de bolsas aislantes no es la única forma de proteger las flores de la contaminación por los insectos. Debido a que *E. globulus* presenta incompatibilidades unilaterales para el cruzamiento con especies de flores pequeñas, fue necesario efectuar diversos tratamientos al estilo de la flor para asegurar la fecundación de los óvulos de las especies receptoras (Potts, 2004).

#### Ensayo de Polinización en *E. globulus*. Huerto Clonal Anilehue (IX Región)

Las polinizaciones fueron efectuadas en el Huerto Semillero Clonal Anilehue, perteneciente a Forestal y Agrícola Monteaguila (FAMASA) y ubicado en las proximidades de Angol (IX Región). El huerto tiene una superficie de 6 hectáreas y tiene en la actualidad 22 clones, cuya ganancia genética estimada en volumen varía entre 7 y 29.7%. Se seleccionaron cuatro clones de acuerdo a su ranking genético, disponibilidad y acceso a las flores con escalas de 3 metros y baja tasa de abortos. El polen fue proporcionado por CSIRO/ALRTIG<sup>3</sup> desde Australia, incluyendo 3 genotipos: de *E. camaldulensis* (C1,C2,C3), 1 genotipo

de *E. tereticornis* y 1 genotipo de *E. benthamii*. La empresa FAMASA colaboró con el polen mix 751 de *E. globulus*, que fue empleado en los cruzamientos OSP que sirvieron de control a los cruzamientos híbridos. El diseño consideró 7 tratamientos OSP más 2 controles; uno de polinización artificial OSP con polen mix de *E. globulus* y otro de polinización abierta. Los tratamientos de polinización fueron asignados al azar dentro del árbol, siendo la unidad experimental de 20 polinizaciones por rama. El número de réplicas (ramas/árbol) fue desigual entre clones.

**Cuadro N° 1**  
**DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE POLINIZACIÓN ARTIFICIAL EN *E. globulus***

Tratamiento	Descripción protocolo de polinización
1	Testigo, yemas florales de polinización abierta
2	Yemas florales no dehiscentes, corte transversal de 1/3 del estilo, polinización y aislación con Tygon sellado con algodón.
3	Yemas florales no dehiscentes, corte oblicuo de 1/3 del estilo, polinización y aislación con Tygon sellado con algodón.
4	Yemas florales no dehiscentes, corte longitudinal 1/3 del estilo, polinización y aislación con Tygon sellado con algodón.
5	Yemas florales dehiscentes, emasculación con bisturí curvo, corte transversal de 1/3 del estilo, polinización y aislación con Tygon sellado con algodón
6	Yemas florales dehiscentes, emasculación con bisturí curvo, corte oblicuo de 1/3 del estilo con tijeras quirúrgicas, polinización y aislación con Tygon sellado con algodón.
7	Yemas florales dehiscentes, emasculación con bisturí curvo, corte longitudinal 1/3 del estilo, polinización y aislación con Tygon sellado con algodón.
8	Yemas florales no dehiscentes, emasculación con bisturí curvo, corte transversal de 1/3 del estilo, polinización y sin aislante.
9	Control OSP Forestal Monteaguala. Polinización corte del estigma en forma longitudinal, hasta del largo del estilo y aplicación de polen mix con mondadientes, sin aislante

### Ensayo de Polinización en *E. camaldulensis*. Predio El Tangué (IV Región)

Las polinizaciones fueron efectuadas en El Tangué (Tongoy, IV región), con personal de la misma Comunidad Agrícola que fue capacitado para efectuar los diferentes tratamientos de polinización. Para esto se aisló flores cercanas al estadio de ántesis, se las emasculó y aisló con bolsas. Al segundo día, una vez receptivo el estigma se aplicó la polinización en las flores.

<sup>3</sup> Commonwealth Scientific Research Research Organization. Australian Low Rainfall Tree Improvement Group



Yemas en Ántesis.



Emasculación con Bisturi.



Aislamiento con Bolsa

**Figura N° 2**  
**PROCESO DE POLINIZACIÓN ARTIFICIAL**

Se usaron 4 madres y 6 genotipos de polen de diferentes especies, 2 de *E. camaldulensis* (C2, C24), 2 de *E. globulus* (EGG, G00066), 1 de *E. grandis* y 1 de *E. tereticornis*. Los árboles corresponden a una plantación de la Hacienda El Tangué, que fueron seleccionados por el estadio de floración predominante (yemas en ántesis y pre-ántesis) y por la accesibilidad de las flores desde el suelo o con escala de 3 metros.

Los tratamientos de polinización fueron asignados al azar dentro del árbol, siendo la unidad experimental de 25 polinizaciones por rama. El número de réplicas (ramas/árbol) fue desigual entre clones.

**Cuadro N° 2**  
**DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE POLINIZACIÓN ARTIFICIAL EN *E. camaldulensis***

Tratamiento	Protocolo de polinización
1	Testigo de polinización abierta
2	Técnica OSP. Yemas florales en ántesis, dehiscentes. Corte 1 mm del estilo, polinización, sin aislante.
3	Yemas en ántesis. Emasculación con bisturí curvo. Aislación de la flor con bolsa con ventana. 2 días después retiro de la bolsa y polinización sin corte del estilo. Aislación con bolsa. Retiro de la bolsa 10 días después.
4	Selección de yemas florales pre-ántesis, no dehiscentes. Corte 1 mm del estilo, polinización, sin aislante. Identificación de la cruz.
5	Operacional. Selección de yemas florales ántesis, dehiscentes, no dehiscentes. Corte 1 mm del estilo, polinización, sin aislante.

**Colecta de las Cápsulas y Procesamiento de las Semillas**

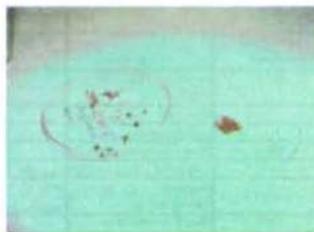
Las cápsulas de los cruzamientos híbridos efectuados en Anilehue (Angol, IX Región) y de El Tangué (Tongoy, IV Región) fueron colectadas en bolsas de papel individual, manteniendo la identificación de las cruzas para el secado y procesamiento de las cápsulas. En el caso de ambos tipos de cápsulas se efectuó un secado a 25° C en estufa por un periodo de 24 horas.



Secado de las Cápsulas



Limpieza Bajo Lupa



Semillas Híbridas

**Figura N° 3**  
**PROCESO DE EXTRACCIÓN DE SEMILLAS**

Las cápsulas fueron mantenidas en placas Petri o envases de vidrio, manteniendo la identificación de la combinatoria híbrida específica. Para la limpieza de las semillas se usó una lupa electrónica, de forma de separar con un pincel paráfisis (óvulos no fertilizados). En el caso de los cruzamientos en *E. globulus* esto resultó sencillo, por cuanto las semillas son de color más oscuro y de forma y tamaños diferentes. En el caso de los cruzamientos en *E. camaldulensis* la separación se efectuó en base a la forma de las potenciales semillas, ya que el color y el tamaño de la paráfisis son similares a las semillas, lo cual no permite su separación a simple vista.

## Análisis Estadístico

Para la evaluación estadística consideró un modelo ANOVA para un diseño completamente aleatorizado en la cual la variable respuesta a los tratamientos de polinización híbrida fue la cantidad de semillas obtenida por polinización efectuada, según la siguiente fórmula :

$$\text{Semilla híbrida / flor polinizada} = (\text{n}^\circ \text{ de polinizaciones} * \% \text{ supervivencia} * \text{n}^\circ \text{ semillas/cápsula})$$

Cuando hubo diferencias significativas entre los tratamientos éstos se compararon a través del Test de Duncan.

## RESULTADOS

Se resume en los siguientes cuadros las polinizaciones efectuadas por madre y genotipo de polen y la cantidad de semillas híbridas obtenidas por cruzamiento específico en *E. globulus* (Cuadro N° 3) y *E. camaldulensis* (Cuadro N° 4). En las Figuras N°s 4 y 5 son indicadas las diferencias estadísticas entre tratamientos de polinización y los híbridos obtenidos para *E. globulus*. En las Figuras N°s 6 y 7 aparecen las diferencias estadísticas entre tratamientos para *E. camaldulensis*. Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí ( $p < 0,05$ ).

**Cuadro N° 3**  
**MATRIZ DE CRUZAMIENTOS EN *E. globulus*. ANILEHUE (IX REGIÓN)**

MADRES <i>E. globulus</i>	Variable	POLEN / GENOTIPOS POR ESPECIE								
		<i>E. benthamii</i> s/i	<i>E. camaldulensis</i>				<i>E. tereticornis</i> s/i	<i>E. globulus</i>		Total
			C1	C2	C24	C3		mix 751	Pol. abierta	
7011	flores polinizadas		140	138	139		140	86	59	682
	cápsulas		9	4	16		8	66	39	142
	semillas		57	36	151		88	2133	498	2961
	semicápsula		6,3	9,0	9,4		10,8	32,3	12,8	20,9
7095	flores polinizadas	128	139	134	138		139	85	63	796
	cápsulas	3	9	2	33		2	85	13	127
	semillas	31	118	32	294		0	1733	165	2373
	semicápsula	10,3	13,1	16,0	8,9		0,0	26,7	12,7	18,7
7135	flores polinizadas		140	139	138		140	56	41	654
	cápsulas			30	1	5	1	16	21	74
	semillas			12	47	28	0	304	411	802
	semicápsula			0,4	47	5,6	0	19	19,6	10,8
7143	flores polinizadas		137	136	148		138	67	38	664
	cápsulas		1	2	101			47	38	189
	semillas		0	6	0			1890	61	1957
	semicápsula		0	3	0			40,2	1,6	19,6
Total flores polinizadas		128	279	549	552	286	557	254	191	2796
Total cápsulas		3	18	37	52	106	11	194	111	532
Total semillas		31	175	80	498	28	86	6060	1136	6.093
Total sem/cápsula		10,3	9,7	2,2	9,6	1,8	7,8	31,2	10,2	18,3
Porcentaje de supervivencia		2	6	7	9	37	2	76	58	19
Semillas híbridas/flor polinizada		0,2	0,6	0,1	0,9	0,1	0,2	23,9	5,9	2,89

### Cuadro N° 4 MATRIZ DE CRUZAMIENTOS EN *E. camaldulensis*. EL TANGUE (IV REGIÓN)

MADRES <i>E. camaldulensis</i>	Variable	POLEN / GENOTIPOS POR ESPECIE							
		<i>E. camaldulensis</i>			<i>E. grandis</i>	<i>E. terebinthifolius</i>	<i>E. globulus</i>		Total
		C2	CA24	PA	s/i	s/i	EGG	G00056	
1	Flores polinizadas	70	100	1860		990	75	50	3105
	cápsulas	5	82	518		182	7		794
	semillas	14	72	392		123	32		633
	semicápsulas	1,8	1,0	1,7		2,3	9,3		2,1
2	Flores polinizadas	50	50	125	200	81	75		581
	cápsulas			73	45	25	23		166
	semillas			155	165	77	41		438
	semicápsulas			2,3	4,2	3,7	4,0		3,6
3	Flores polinizadas	50	75	125	125	75	75		525
	cápsulas		14	66	38		5		123
	semillas		33	362	313		21		728
	semicápsulas		2,4	5,7	5,8		3,5		5,0
4	Flores polinizadas	50		125	168	159	50	154	706
	cápsulas			100	37	29	1		167
	semillas			523	313	360	12		1208
	semicápsulas			5,2	11,5	13,0	1,2		9,9
5	Flores polinizadas	50		125	100	100	75	50	500
	cápsulas			89	22	2	2		115
	semillas			478	188	43	11		720
	semicápsulas			5,4	8,5	21,5	5,5		9,4
Total flores polinizadas		200	195	600	2463	1365	350	264	5.417
Total cápsulas			19	410	660	238	38		1.365
Total semillas			47	1590	1371	603	117		3.728
Total semicápsula			2,0	4,0	3,8	7,6	5,9		4,7
Porcentaje de supervivencia		0	9,7	66,3	26,9	17,4	10,9	0,0	25,2
Semillas híbridas/flor polinizada		0	0,2	2,7	0,6	0,4	0,3	0,0	0,7

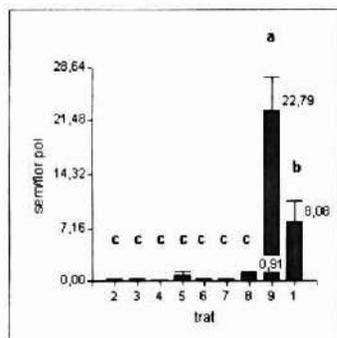


Figura N° 4  
Tratamientos *E. globulus*

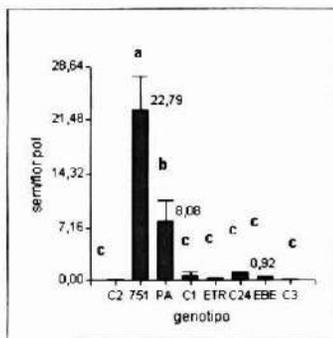


Figura N° 5  
Híbridos *E. globulus*

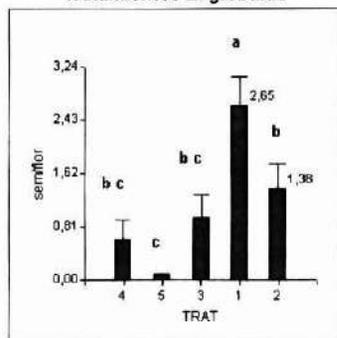


Figura N° 6  
Tratamientos *E. camaldulensis*

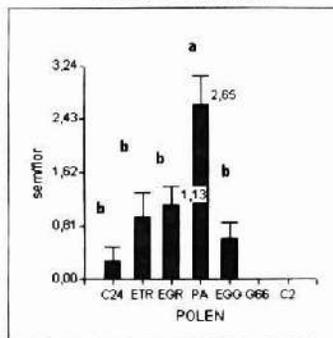


Figura N° 7  
Híbridos *E. camaldulensis*

## DISCUSIÓN

### Polinizaciones Híbridas en *E. globulus*

Considerando como variable respuesta de las polinizaciones la cantidad de semillas híbridas obtenidas por flor polinizada, es decir considerando la eficiencia de las polinizaciones, se puede apreciar en la Figura N° 4 que el mejor resultado del ensayo correspondió al tratamiento 9 de las cruza intraespecíficas de *E. globulus* usando la técnica OSP operacional (22,8 semillas/flor polinizada). Este tratamiento de polinización presenta diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a la polinización abierta (8,08 semillas/flor polinizada) y al resto de los tratamientos de polinización OSP interespecífica. La polinización asistida OSP efectivamente mejoró la cantidad de semillas obtenidos en relación a la polinización abierta. Esto se explica por la polinización asistida y en parte por efecto de la técnica, ya que según diferentes autores aumentaría la cantidad de óvulos fertilizados exitosamente (Borralho, 2001).

En relación al resto de los tratamientos OSP donde se efectuó cruzamientos híbridos, el mejor protocolo de polinización correspondió al Tratamiento 8 (0,91 semillas/flor polinizada) que consideró la aplicación de polen en yemas florales no dehiscentes, el corte transversal 1/3 del estilo y sin aislamiento de la flor. Esto es coherente con las siguientes hipótesis: a) Corte de estilo permitiría romper la incompatibilidad unilateral de *E. globulus* (Rojas et al, 2003), b) Los mecanismos de incompatibilidad fisiológicos asociados al estilo no están activos cuando la flor se encuentra inmadura ("no dehiscente"), lo cual permitiría el crecimiento del tubo polínico de otra especie hacia el ovario de la flor, c) El efecto del corte del estilo con la técnica OSP podría hacer receptiva la flor y d) La sonda Tygon podría tener un efecto negativo en el desarrollo de las cápsulas y de las semillas al generar un ambiente indeseable para la flor.

En relación a las combinatorias híbridas probadas, se concluye la importancia de la especificidad de los cruzamientos. De esta forma entre los genotipos de polen probados el mejor resultado se obtuvo con el polen de *E. camaldulensis* C24 en todas las cruza con *E. globulus* (0,92 semillas/flor polinizada) (Figura N° 5), siendo óptima la cruz específica *E. globulus* Clon 7095 x *E. camaldulensis* C24 (Cuadro N° 3).

### Polinizaciones Híbridas en *E. camaldulensis*

Al igual que en *E. globulus*, si se considera como variable respuesta la cantidad de semillas híbridas obtenidas por flor polinizada, se puede apreciar en la Figura N° 6 que el mejor resultado del ensayo correspondió a la polinización abierta (2,65 semillas/flor polinizada), siendo estadísticamente significativa su diferencia respecto al resto de las cruza interespecíficas con polen de otras especies.

En relación al resto de los tratamientos OSP donde se efectuó cruzamientos híbridos, el mejor protocolo de polinización correspondió al Tratamiento 2 (1,38 semillas/flor polinizada) que consideró la aplicación de polen en yemas florales dehiscentes, el corte del estigma en 1 mm y sin aislamiento de la flor. Esto es coherente con las siguientes hipótesis: a) El corte

del estigma podría hacer receptiva la flor y b) Los aislantes tradicionales en *E. camaldulensis* como las bolsas de aislación podrían tener un efecto negativo en el desarrollo de las cápsulas y de las semillas al generar un ambiente indeseable para la flor (mayor temperatura, radiación, falta de intercambio gaseoso adecuado). En relación a las combinaciones híbridas probadas, el mejor resultado se obtuvo con *E. grandis* (1,13 semillas/flor polinizada) (Figura N° 7).

Aunque algunos trabajos señalan que la contaminación de polen en *E. globulus* es de 4% y de 5.5% en *E. grandis* (Harbard, 2000) cuando no se aísla las flores polinizadas y que sería viable la producción comercial de semillas híbridas con el sistema OSP sin aislante, resulta esencial confirmar la identidad genética de las cruas híbridas con marcadores genéticos (SSR, isoenzimas).

## CONCLUSIONES

Es factible la producción de semillas híbridas, tanto en *E. globulus* como en *E. camaldulensis*, con el sistema OSP

El protocolo de polinización híbrida OSP en *E. globulus* consideraría yemas florales no dehiscentes, emasculación con bisturí curvo, corte transversal de 1/3 del estilo, polinización y sin aislante.

El protocolo de polinización híbrida OSP en *E. camaldulensis* consideraría yemas florales en ántesis, dehiscentes, corte 1 mm del estilo, polinización, sin aislante.

Existe una alta especificidad entre madre (clon) x polen (genotipo).

Aunque la contaminación es pequeña sin uso de aislante, es importante confirmar la identidad genética de las cruas híbridas con marcadores genéticos (SSR, isoenzimas).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a FDI/CORFO por el financiamiento de la investigación desarrollada en el proyecto tecnológico "Desarrollo de Plantaciones Forestales Económicamente Rentables con Individuos Resistentes al Déficit Hídrico en la Zona Semiárida de la IV Región".

También desean agradecer al CSIRO/ALRTIG (Australia) por proporcionar el polen, a la empresa Forestal Mininco, por facilitar el polen y las instalaciones del huerto semillero de Anilehue para efectuar las polinizaciones y a la Comunidad Agrícola y Ganadera El Tanque de la IV Región por poner a disposición las plantaciones y el personal para efectuar las polinizaciones.



## REFERENCIAS

- Borralho, 2001.** Successful Fertilization and Seed Set from Pollination on Immature Non-dehisced Flowers of *Eucalyptus globulus*. *Annals of Botany*. 87(4):469-475.
- Dungey, H. and Nikles D., 2000.** An international survey of interspecific hybrids in forestry. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. QFRI/CRC-SPF Symposium Noosa, Queensland, Australia. 9-14 April
- Eldrigde, K., Davidson J., Harwood C. and Van Vik, G. 2000.** *Eucalypt Domestication and Breeding*. Oxford Science Publication
- Harbard J. L., Griffin A.R. and Espejo J.E. 2000.** One Stop Pollination, a New Technology Developed by Shell Forestry Technology Unit. Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees. QFRI/CRC-SPF Symposium Noosa, Queensland, Australia. 9-14 April.
- Harbard, J. L., Griffin A.R. and Espejo J. 1999.** Mass Controlled Pollination of *Eucalyptus globulus*: a Practical Reality. *Can. J. For. Res.* 29(10):†1457–1463†
- Potts, B. M. and Williams D., 2004.** Advances in Pollination Technique for Large-scale Production of *Eucalyptus globulus* seed. *Australian Journal of Botany*, 52(6), pgs. 781–788
- Rojas, P. M., Potts. B. M and Ramirez P., 2003.** The Development of a Methodology for Large-Scale Production of Interspecific Hybrid Seed in a *Eucalyptus globulus* Clonal Seed Orchard . IUFRO Meeting. Desarrollando el Eucalipto del Futuro. Valdivia, Chile.
- Williams, D. and Potts B. M., 1999.** Testing Single Visit Pollination Procedures for *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. *Australian Forestry* 62:346-352

---

# EXPERIENCIA DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN UN ASERRIO

Katia Manzanares, Digna Velázquez y Ma Antonia Guyat <sup>1</sup>

## RESÚMEN

La deficiente tecnología empleada en los procesos de aserrado de la madera genera altos volúmenes de desechos que son agentes de contaminación ambiental. La mayor parte de estos residuos, se acumulan en los patios de los aserraderos y en la mayoría de los casos son convertidos en cenizas, liberando gran cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo cual es una amenaza para la salud ambiental y un factor decisivo en el deterioro progresivo de los recursos naturales. El objetivo del trabajo es realizar una propuesta de uso productivo de los desechos con el fin diversificar la producción de productos forestales mediante tecnologías de bajo impacto ambiental. El trabajo se realizó con las especies *Pinus caribaea* Mor. y *Pinus tropicalis* Mor que se procesan en el aserradero de Pons, Minas de Matahambre. Se comprobó que el reciclado de los desechos en la producción de embalajes, elementos constructivos y carbón vegetal es técnicamente posible y viable desde el punto de vista social ya que posibilita agregar valor a la producción primaria del aserrío. La estrategia de utilizar desechos maderables es una práctica de innovación tecnológica que proporciona ganancias adicionales a la Empresa por concepto de venta de productos forestales y estimula la creatividad de los actores en el proceso de generación de nuevos conocimientos.

**Palabras claves:** Residuos, aserrío, productos forestales, coníferas

---

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Forestales. Cuba. [katia@forestales.co.cu](mailto:katia@forestales.co.cu)

## SAWMILL WOOD WASTES UTILIZATION EXPERIENCE

### SUMMARY

The faulty technology used in the processes of having sawed of the wood generates high volumes of waste that are agents of environmental contamination. Most of these residuals, they accumulate in the patios of the sawmills and in most of the cases they are converted in ash, liberating great quantity from CO<sub>2</sub> to the atmosphere, that which is a threat for the environmental health and a decisive factor in the progressive deterioration of the natural resources. The objective of the article is to carry out a proposal of productive use of the waste with in order to get diversify the production of forest products by means of technologies of under environment impact. The work was carried out with the *Pinus caribaea* Mor. and *Pinus tropicalis* Mor species that are processed in the sawmill of Pons, Minas de Matahambre. It was proven that the one recycled of the waste in the production of packing, constructive elements and vegetable charcoal is technically possible and viable from the social point of view since facilitates to add value to the primary production of the sawmill. The strategy of using wood waste is a practice of technological innovation that provides additional earnings to the Company for concept of sale of forest products and it stimulates the creativity of the actors in the process of generation of new knowledge.

**Keywords:** Wood wastes, sawmill, forest product, pine

## INTRODUCCIÓN

La comunidad internacional reconoce que la gestión de los residuos es un problema global que requiere una atención urgente señala Álvarez (2001). La utilización de los residuos leñosos puede convertirse en una fuente potencial de materia para el desarrollo de la industria local, el rescate de las técnicas tradicionales y la implementación de nuevas tecnologías de control ambiental. Este tipo de estrategia está basada en la llamada concentración vertical. (Bequete, 1996) en la cual los desechos de una producción constituyen insumos para otras líneas de flujo, propiciando así el reciclado de la materia prima e incrementando el valor agregado del producto.

Esta concepción industrial propone que el modelo ideal es aquel que en todos los desechos producidos sean utilizados de manera productiva, teniendo en cuenta que los asuntos medioambientales son cada vez más vitales para las empresas.

Los residuos de la industria de transformación mecánica de la madera son considerados como una de las mayores complicaciones en el sector forestal, no sólo por los costos que demanda su almacenamiento o evacuación, sino por que además son causantes de contaminación ambiental (CONAF, 1995).

En lo relativo a la industria forestal en Cuba, se ha presentado una brecha en el aprovechamiento de los residuos maderables generados en los aserrios, situación que es indispensable tener en cuenta si se pretende manejar los recursos forestales bajo la tesis del desarrollo sostenible.

## OBJETIVOS

El objetivo del trabajo es buscar soluciones productivas a los desechos que permita realizar una estrategia para agregar valor a la producción primaria del aserrio que garantice la estabilidad socioeconómica del complejo agroindustrial mediante la ampliación de bienes y servicios a la población.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de Ejecución.

El trabajo se realizó en el combinado industrial Albaro Barba, de 60 000 m<sup>3</sup> anuales de capacidad instalada. La madera procesadas en este aserrio es fundamentalmente de coníferas, principalmente *Pinus caribaea* Morelet y *Pinus tropicalis* Morelet.

### Metodología para el Esquema de Adecuación.

La evaluación se efectuó basada en el método de diagnóstico exploratorio de sistemas agrícolas (García, 1995). El diseño de investigación contempló la modalidad de la comparación del estado de los desechos maderables antes y después del tratamiento, en este caso la introducción de la propuesta de uso productivo. Para la elaboración del esquema de base se

utilizaron grupos de empleados «testigos» para valorar la situación actual de la instalación y los antecedentes. Se recopiló información de carácter económico y técnico mediante sondeos informales a los trabajadores.

### **Metodología de Trabajo para el Diseño de Embalaje**

Los envases y embalajes han sido definidos como un sistema de preparación de mercancías para su transporte, almacenamiento, distribución y consumo, y por ende los mismos deben contener, proteger, informar y vender dicho contenido (González, 1999).

El estudio de este perfil se realizó tomando elementos de las Normas NC 97-95-1987. Y NC 97-83-1987 de acuerdo a los aspectos siguientes: Naturaleza de la materia prima, definición de la forma, determinación de las dimensiones y funcionalidad del embalaje. Además se recogió información de las mercancías comercializadas en la zona, utilizando el método de observación directa y sondeos exploratorios a algunos campesinos y a unidades estatales para evaluar la funcionalidad del embalaje.

### **Metodología para la Producción de Energía**

Se realizó un Seminario de Capacitación a un grupo de obreros dedicados a la tarea de carbonización para establecer un flujo de conocimientos técnicos y habilidades sobre la nueva tecnología de hornos metálicos basada en producciones secundarias recomendadas por (Sarré 2001). Los residuos maderables fueron transportados en camiones tipo volteo desde el aserradero hasta el área de carbonización, cubriendo una distancia de dos kilómetros. La materia prima seleccionada son las costaneras cortas, rasgadas, finas, y las recorterías en forma de tacos. Después, los residuos seleccionados son depositados al aire libre en una zona del escenario productivo prefijado.

El diseño del horno esta constituido por dos secciones que ocupan una capacidad de 7 m<sup>3</sup>. El cuerpo, que está formado por dos cilindros de diámetros ligeramente diferentes acoplados entre sí, y la tapa cónica, que descansa sobre el cilindro superior. Presenta, además, ocho salidas; cuatro para la entrada de aire y las restantes para la salida de los gases. Las operaciones realizadas para la carbonización en el horno metálico son las siguientes: Capacitación del personal, selección y transporte de los desechos, corte y redimensionamiento de las costaneras, secado natural de la biomasa, llenado del horno, encendido del equipo, proceso de carbonización (Monitoreo de las operaciones), descarga del horno, pesaje y envasado del carbón.

### **Metodología para la Producción de Bloques de Madera Mineralizada**

Se realizó una fabricación seriada de elementos de paredes con la aplicación de la guía metodológica de autoconstrucción propuesta por Velázquez *et al.* (2000). Estos productos se fabrican con partículas maderables amasadas con cemento Pórtland y un agregado local mediante la técnica del moldeado *in situ* por compactación manual.

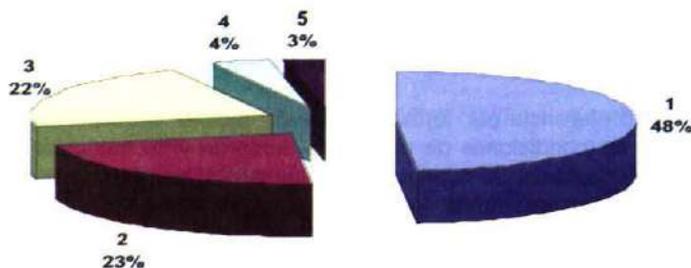
## RESULTADOS Y DISCUSION

### Cuantificación de Biomasa en Aserrío de Minas de Matahambre.

Se obtuvo un tamaño de muestra para el trabajo en la plataforma #1 de 80 árboles, cuyos resultados en esta área revelaron que el volumen total de la cuantificación fue de 30,33 m<sup>3</sup> y el volumen de trozas después del despunte resulto de 28,18 m<sup>3</sup>, equivalente a un 93,91 % del total del bolo, estos datos indican que 2,16 m<sup>3</sup> de madera (7,13 %) se pierde como leña. La cual es uno de los primeros residuos que se obtiene en la industria del aserrado. El tratamiento que se le está dando a la leña, al igual que a las costaneras es como energía. En la segunda fase o plataforma 2 se determinó un tamaño de muestra de 50 unidades (trozas). El volumen total de madera en trozas fue de 6,97 m<sup>3</sup>, de ellos 3,38 m<sup>3</sup> se convirtieron en madera aserrada para un 48,49 % de rendimiento y el resto 3,59 m<sup>3</sup> pasó a la categoría de residuos totales que representa un 51,51 %.

**Cuadro N° 1**  
**ESTRUCTURA PORCENTUAL DEL APROVECHAMIENTO DEL BOLO**

Conceptos	(m <sup>3</sup> )	(%)
Volumen trozas	6.97	100
Madera aserrada	3.38	48,49
Residuos totales	3.59	51,51
Aserrín	1,62	23,24
Costanera	1,51	21,66
Tacos	0,27	3,87
Varillas	0,19	2,73



**Figura N° 1**  
**ESTRUCTURA PORCENTUAL DE LA MADERA ASERRADA Y LOS RESIDUOS**



Teniendo en cuenta la cuantificación de la biomasa obtenida en las plataformas 1 y 2, se puede plantear de forma general que del total de madera larga que llega al aserrío, solo el 45,03 % se convierte en madera aserrada y el resto (54,97 %) se transforma en residuos totales, de los cuales el 7,2 % se destina para leña, 21,06 % es aserrín, 20,12 % costaneras, 3,59 % tacos y 2,54 % varillas (Figura N° 1). Los resultados demuestran que existen problemas en el rendimiento de madera aserrada que pueden ser resueltos tecnológicamente con el reciclado de los residuos coincidente con lo planteado por AITIM (1997).

### Producción de Embalajes

Los envases y embalajes han sido definidos como un sistema de preparación de mercancías para su transporte, almacenamiento, distribución y consumo, y por ende los mismos deben contener, proteger, informar y vender dicho contenido (González, 1999). El análisis de caracterización de maderas de las especies de coníferas occidentales revela ser una materia prima apta para embalaje, correspondiente a un grupo intermedio entre maderas moderadamente blandas y duras (Figura N° 2). Por estas razones, su capacidad de resistencia a la compresión, flexión estática, dureza y retención a los clavos está en el rango de media-alta. Estas propiedades son de mucha importancia para el uso recomendado ya que los embalajes están sometidos a golpes y caídas en las operaciones de carga y descarga.



Figura N° 2  
COSTANERAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE CAJAS

La actual preferencia por formas sencillas, cúbicas o de paralelepípedo es una consecuencia de las condiciones de transporte moderno y en particular para el caso de Cuba. Además los huacales de configuración esquelética para embalar pomos y botellas son diseños muy apropiados para fabricarlos con residuos de madera. Los principales embalajes de paralelepípedos que pueden fabricarse con los residuos son las cajas de acopio (Figura N° 3) para apoyar el programa de la producción de alimentos de la agricultura urbana. Las dimensiones nominales son 44 x 30 x 25 cm y están constituidos por las piezas siguientes:

Laterales:	4 piezas de 44 x 10 x 1 cm y 6 piezas de 30 x 7 x 1 cm
Fondo:	3 piezas de 44 x 8 x 1 cm y 4 piezas de 30 x 3 x 1 cm
Refuerzos:	4 piezas triangulares de 2 x 2 x 25 cm



Figura N° 3  
CAJAS AGRÍCOLAS FABRICADAS CON COSTANERAS

## Producción de Energía

### - Carbonización en Horno Metálico

Los residuos industriales, por presentar una forma irregular, fueron ubicados en los hornos de manera que los pedazos más gruesos estuvieran en la parte central, mientras que los más finos se dispusieron en la periferia, tanto para horno tradicional como el metálico. Se enciende el horno, se inicia la carbonización hasta lograr que todo el horno haya quemado. Se logró realizar una quema homogénea durante 72 horas en horno metálico (Figura N° 4).

Se utilizó residuos de aserradero (cantos) para rellenar algunas zonas de la pila de madera. Terminada la carbonización se descarga el horno, se enfría el carbón y pasa a una etapa final de envasado en sacos de fibras sintéticas para su comercialización.

### - Aspectos Productivos de los Hornos

Los rendimientos del horno tradicional con estos residuos se comportaron similar al de la producción, obteniéndose 6 sacos por horno en una semana, mientras que en el metálico se realizan 2 cargas semanales alcanzándose aproximadamente 50 sacos por horno/semanales. El efecto económico de la variante base con relación a la nueva es de 242 pesos/semanales.

Los resultados obtenidos en el horno metálico superaron al tradicional, logrando un carbón de mejor calidad que el producido por el método tradicional (Figura 4). Además, se consigue una mayor eficiencia energética y de esta forma una reducción de la presión sobre los recursos forestales y de las emisiones de gases de efecto invernadero, con el uso de este tipo de tecnología alternativa para el sistema de abastecimiento energético de la población. Este proceso productivo demuestra la importancia de movilizar a las empresas en la gestión ambiental del aprovechamiento integral de la biomasa, mediante tecnologías

de reciclado, que resultan un éxito cuando se organiza la participación colectiva y la materia prima está cerca del escenario productivo tal como propone Contreras y Owen (2000).

Se comprobó que esta tecnología presenta una serie de ventajas con respecto a la producción en hornos tradicionales, las principales son la humanización del trabajo de los operarios, los tiempos de carbonización son menores que los tradicionales, mayor eficiencia y calidad del producto, mayor productividad (rendimientos), mayor remuneración salarial al carbonero y mayor protección e higiene de los operarios. A lo anterior se suma la ventaja de que se trata de un horno transportable que permite un fácil traslado de locación.



Figura N° 4

#### DISEÑO DEL HORNO METÁLICO PARA CARBONIZACIÓN DE RESIDUOS

### Productos Mineralizados para Viviendas Populares

Se fabricó 325 prototipos de elementos de paredes con un binomio de técnicas forestales, circunstancia que permitió elevar la autoestima femenina en un ámbito laboral dominado por los hombres. Aprender a realizar bloques de madera exigió iniciativa, organización y perseverancia así como incitó a ser minucioso para no descuidar los detalles en el afán de obtener la calidad requerida del producto. La experiencia realizada tuvo el mérito de enseñar a pensar, a ejercitar el sentido común, a dar rienda suelta a la imaginación creadora para "aprender haciendo" como señala Nguingiri (2004) (Figura N° 5). Los bloques de xilo-cemento cumplen la función de muro divisorio aislante térmico-acústico porque satisfacen los requerimientos establecidos en las normas (Yossifov et al., 1997). Los resultados de los sondeos de opinión indican que la población está dispuesta a consumir este producto forestal como solución alternativa para sus viviendas, aunque se inclinan a utilizar el bloque convencional de hormigón por un problema de costumbre constructiva arraigada y por no tener claridad de las ventajas ecológicas del empleo de bioconcreto.



Figura N° 5  
BLOQUES DE MADERA MINERALIZADA

Se determinó que el producto forestal propuesto es un material de construcción ecológico, de acuerdo a lo descrito por Roche *et al* (2003), que posibilita la práctica de la autoconstrucción por el futuro propietario, particularmente en momentos críticos como los desastres naturales tal como recomienda Soriano *et al.*, (2002).

## CONCLUSIONES

Los principales residuos de aserrío se clasifican en varios tipos: Residuos de troceado con hacha, rectángulos pequeños y grandes, costaneras (largas, rasgadas y en pedazos), varillas irregulares y con corteza, cantos de módulos, corteza y virutas y aserrín. De acuerdo a las categorías de uso, el volumen mayoritario de desechos se destinará para fines energético seguido de embalaje.

Las tecnologías propuestas en este trabajo pueden ser un intento de crear un camino para el acercamiento a los pequeños talleres asociados a la industria forestal y rescatar la cultura de reciclado de desechos. Además, estimula la conservación y utilización de la biomasa leñosa residual.

Se comprobó que es técnicamente viable el aprovechamiento de los residuos sólidos industriales ya que posibilita la diversificación de los productos forestales, con menor consumo de materia prima procedente del bosque y mayor valor agregado.

## REFERENCIAS

Álvarez, Esther, 2002. Perspectivas del Aprovechamiento del Aserrín para Diferentes Fines. Pinar del Río. Revista Forestal centroamericana: (39-40)

AITIM, 1977. El Reciclado de los Residuos de Madera. Boletín de Información Técnica 188:9-10

Bequete, F., 1996. Un Mundo sin Desecho, una Utopía? Revista Correos (XLIX):43-45.

**Contreras, W. y Owen, M., 2000.** Prototipo Estructural Mucunutan I para la Construcción de Viviendas Rurales Modernas para los Páramos Venezolanos Empleando la Madera y las Tecnologías Constructivas Alternativas. *Revista Forestal Venezolana* 44 (2):53-61

**García, L., 1995.** Diagnóstico de Sistema Agrícolas/Ciudad Habana/: CEAS-ISCAH – 158 p.

**Gonzalez, S., 1999.** Etiquetas Autoadhesivas. *Revista Cuba Envase*.14 (2):12-17.

**Nguingui, J.C., 2004.** Punto de Vista. *Revista Actualidad Forestal Tropical*.12 (2):31-32

**Roche, I.; O'Connor, J. y Tetu, P., 2003.** Los Productos de la Madera y la Producción Sostenible./Québec: XII Congreso Forestal Mundial 381 p.

**Sarré, A., 2001.** El Proceso de Elaboración Secundaria. Editorial. *Actualidad Forestal Tropical* 9(1):1-2.

**Soriano, F.; Rondero, T.; Manalo, A. C. Carino, C. R. y Bonaagua, E. A., 2002.** Application of Wood Wool Cement Boards for Shop-fabricated Emergency Shelters in the Philippines. Proceeding of Workshop Wood cement composites in the Asia-Pacific region. Canberra, /: ACIAR/— 160 p.

**Velázquez D.; Manzanares, K. y Castillo, M., 2000.** Instructivo Técnico de Auto-construcción./Ciudad Habana/: DTA—22 p

**Yossifov, N.; Palmira, K. y Gabi, S., 1997.** Agri-cement Panels from Sunflower Stalks./Spokane/: Inorganic Bonded Wood and Fiber composite Conference — 162 p.

---

## INCORPORACIÓN DE *Boletus edulis* Y *Boletus pinicola* EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata* EN CHILE<sup>1</sup>

Patricio Chung G.<sup>2</sup>; Juan Carlos Pinilla S.<sup>3</sup>; Karoline Casanova D.<sup>4</sup>; Hernán Soto G.<sup>5</sup>

### RESÚMEN

*Pinus radiata*, la especie forestal más plantada en Chile, presenta asociaciones micorrícicas con varias especies, dentro de las cuales se cuentan algunas de importancia económica en el rubro de los hongos comestibles de exportación. Estas corresponden a las especies *Suillus luteus*, *Suillus granulatus* y *Lactarius deliciosus*, cuyas fructificaciones se venden muy por debajo de los precios alcanzados por otras especies, como las pertenecientes a los Géneros *Tuber*, *Boletus*, *Cantharellus*, *Tricholoma* o *Morchella*.

Sin duda la incorporación al mercado nacional de nuevas especies de hongos micorrícicos comestibles y de alto valor económico, ayudaría a generar una mayor rentabilidad de las plantaciones de pino, otorgando una mayor atracción en la inversión en forestación y un mayor beneficio social.

Por ello, el Instituto Forestal realizó la introducción de dos especies micorrícicas de importancia, *Boletus edulis* y *Boletus pinicola*, para ser aplicadas en *Pinus radiata*, logrando incorporar estos hongos en plantas de vivero. Finalmente, se estableció ensayos en terreno, que abarcaron sitios de la VII y VIII Regiones, para evaluar a corto plazo la eficiencia de estos hongos en el crecimiento y sobrevivencia de las plantaciones y, más a largo plazo, la obtención de fructificaciones.

Se presenta los resultados luego de 24 meses de establecido los ensayos, demostrando que aún persisten las asociaciones micorrícicas establecidas en las raíces. Los datos en terreno han destacado el aporte de estos hongos en el crecimiento de las plantas, presentándose un mayor crecimiento en las plantas con estas asociaciones.

**Palabras claves:** *Pinus radiata*, *Boletus edulis*, *Boletus pinicola*, inoculación, crecimiento

---

<sup>1</sup> Trabajo realizado en el marco del proyecto "Hongos Micorrícicos Comestibles: Una Alternativa Para Mejorar la Rentabilidad de las Plantaciones Forestales", con aportes de FONDEF de CONICYT y entidades públicas y privadas

<sup>2</sup> Instituto Forestal, Chile, pchung@infor.gob.cl

<sup>3</sup> Instituto Forestal, Chile, jpinilla@infor.gob.cl

<sup>4</sup> Instituto Forestal, Chile, kcasanova@infor.gob.cl

<sup>5</sup> Instituto Forestal, Chile, hsoto@infor.gob.cl

## INCORPORATION OF *Boletus edulis* AND *Boletus pinicola* IN PLANTATIONS OF *Pinus radiata* IN CHILE

### SUMMARY

*Pinus radiata*, the most planted forest species in Chile, presents mycorrhizal associations with several species, within which some of economic importance in the group of edible fungi for foreign markets are counted. These correspond to the species *Suillus luteus*, *Suillus granulatus* and *Lactarius deliciosus*, whose fruitions are sold very below the prices reached about other species, like the pertaining ones to the Genus *Tuber*, *Boletus*, *Cantharellus*, *Tricholoma* or *Morchella*.

The incorporation of new products to the national market, with the introduction of new species of edible mycorrhizal mushrooms of high economic value, could generate a greater yield in pine plantations, granting a greater attraction in the investment in forestation and a greater social benefit.

For that reason, the Forestry Institute of Chile introduced two mycorrhizal species, *Boletus edulis* and *Boletus pinicola*, to be applied in *Pinus radiata*, establishing in addition, the techniques to incorporate these fungi in breeding ground, being obtained to produce inoculated plants. Finally, land tests settled down, that included sites in the VII and VIII Regions, to determine the efficiency of these fungi.

The results 24 months after establishing the tests, demonstrated that the introduced fungi species still persist in the roots. Field data are highlighting the contribution of these fungi to the growth of the inoculated seedlings, appearing a greater growth in them.

**Key words:** *Pinus radiata*, *Boletus edulis*, *Boletus pinicola*, inoculation, growth

## INTRODUCCIÓN

La producción de hongos comestibles en bosques y matorrales constituye una de las principales riquezas forestales, aunque con frecuencia es ignorada o poco valorada (FAO, 1992). En general, al mencionar los productos forestales, se piensa exclusivamente en la madera lo cual carece muchas veces de sentido al comparar las rentas que se puede obtener con otras producciones como son los hongos comestibles (Oria 1989, 1991).

Los hongos silvestres comestibles constituyen un recurso natural renovable que actualmente ha adquirido importancia en varias regiones de Chile. Dentro de estos, una buena parte presenta asociaciones micorrícicas, es decir, además de formar hongos para consumo humano, mantienen una asociación simbiótica con las raíces de ciertas plantas, particularmente con árboles forestales.

Estos hongos presentes en los bosques de Chile, en sí, constituyen una riqueza forestal y su comercio adquiere cada día mayor importancia. Su producción en el bosque es variable y la posibilidad de obtener una producción en forma controlada de alguno de éstos mediante plantaciones de árboles micorrizados, ha hecho que actualmente muchos se hayan planteado la posibilidad de su cultivo.

Por su parte, los hongos por sí solos ya son importantes tanto para la generación de ingresos estacionales y como alimentos para los habitantes de zonas marginales, puesto que estos son un producto altamente proteico, además de ser un alimento natural con bastante fibra, vitaminas, minerales y escasa cantidad de grasas y colesterol. En el último tiempo, el consumo de hongos comestibles se ha intensificado en respuesta al mayor interés de las personas por una dieta más sana. La preocupación por consumir productos naturales, más fibras, más vitaminas, minerales y menos grasas y colesterol, han hecho que los hongos ocupen un lugar importante en la alimentación.

La incorporación de hongos micorrícicos comestibles de alto valor económico como son los del Género *Boletus*, podría generar mayores ingresos adicionales durante gran parte de la rotación de una plantación de *Pinus radiata*, haciendo más atractiva la inversión en silvicultura. Adicionalmente, la naturaleza micorrícica de estos agentes tiene una positiva repercusión en el desarrollo de las plantas y pueden afectar positivamente los costos de establecimiento y manejo del recurso. Estos efectos, al igual que el flujo de ingresos adicional, también contribuyen a mejorar la rentabilidad de las plantaciones y pueden aumentar el interés de propietarios por invertir en el establecimiento de nuevas plantaciones forestales (Chung, 2005).

En los últimos años el auge de los hongos silvestres es consecuencia del alto interés internacional por los hongos comestibles. Esto ha permitido vivir y obtener ganancias a personas, familias y empresa en diversas partes del mundo, incluyendo a Chile.

En el segmento de los hongos silvestres, Chile tiene un potencial interesante para desarrollar una actividad de mayor envergadura comercial que la actual, lo que no sólo significaría mayores ingresos por concepto de exportaciones, sino que también una contribución notable al empleo (Gysling *et al*, 2005).

Para Chile es clara la oportunidad para iniciar líneas de investigación y de desarrollo innovativo, que permitan conjugar aspectos como la recuperación de suelos degradados y el mejoramiento de las condiciones de establecimiento y sobrevivencia de las plantaciones, con la generación de productos intermedios de alto valor económico, ecológico y social como son los hongos micorrízicos comestibles.

## OBJETIVOS

Mejorar la rentabilidad de las plantaciones de *Pinus radiata* mediante la utilización de hongos micorrízicos comestibles a través de la generación de productos intermedios comercializables y el aumento de la productividad mediante el éxito de las plantaciones.

## ANTECEDENTES GENERALES

Las micorrizas (*mycos* = hongo, *rhiza* = raíz) constituyen entidades simbióticas entre un hongo y las raíces de una planta, cuya importancia, en la actualidad, está fuera de toda duda. El nombre fue dado por el botánico alemán Frank en 1885, aunque estas asociaciones fueron estudiadas a partir de 1910 (Vasco, 2003).

Se estima que alrededor del 95% de las plantas vasculares participan en este tipo de asociaciones y sólo algunas familias son las excepciones, las cuales no llegan a formar simbiosis (Honrubia, citado por Reyna, 2000).

Las micorrizas contribuyen a superar la acidez, baja fertilidad del suelo, altas temperaturas y el estrés hídrico. Su presencia en el sistema radicular cumpliendo el papel de protector es considerada como esencial para la supervivencia, calidad y crecimiento de la mayoría de las plantas, siendo de gran importancia en especies forestales, debido a su ayuda al establecimiento de las plantaciones gracias al incremento en la resistencia a los factores adversos, lo que permite, finalmente, aumentar las ganancias por concepto de disminución en los costos de manejo y una reducción en la rotación.

Las asociaciones de tipo ectomicorrízicas son las más importantes dentro de las coníferas, siendo además muy importantes para la principal especie de interés forestal en Chile, *Pinus radiata*, y sus representantes pertenecen mayoritariamente a la clase *Basidiomycetes* y, algunos, a la clase *Ascomycetes* (Montecinos, 2000).

El pino radiata en Chile presenta asociaciones con alrededor de 32 especies micorrízicas (Garrido, 1986). Varias de ellas han sido utilizadas con el objetivo de aumentar el crecimiento y la supervivencia de las plantaciones. Dentro de las ectomicorrizas asociada a esta especie maderera, existen sólo 3 de importancia en el comercio de los hongos comestibles. Estos son *Suillus luteus*, *Suillus granulatus* y *Lactarius deliciosus*, cuyos precios distan mucho de los obtenidos por especies como *Boletus edulis*, *Tricholoma matsutake* o *Tuber melanosporum*.

Respecto de *Boletus edulis*, es una de las de mayor preferencia en el mercado internacional, creciendo en condiciones similares a las que se encuentran las plantaciones de pino del país, debido a lo cual cabe la posibilidad de introducirla, pudiendo competir en los mercados internacionales con un producto de similares características, aumentando la producción de hongos silvestres y los ingresos actuales por exportación de este tipo de producto (INFOR, 1989).

*Boletus* fructifica en zonas de gran diversidad ecológica, asociado a bosques adultos. Principalmente en suelos ácidos, pobres, no muy profundos, de textura variada, creciendo tanto bajo bosques abiertos de hoja caduca como coníferas. La producción de sus cuerpos fructíferos llega a perderse si el bosque se cierra en exceso. El inicio de la fructificación se sucede después de un choque de frío (Morcillo, 2005).

De datos obtenidos en trabajos realizados en esta temática, se puede destacar la importancia que la producción de hongos puede tener en una mayor rentabilidad de las plantaciones de *P. radiata*. La productividad de un bosque de pino se puede incrementar en un 30% cuando en este se encuentran algunos hongos comestibles como *Boletus edulis* (Dans et al, 1999).

Alrededor de la mitad de las setas comestibles que se transan en el mundo pertenecen a los hongos ectomicorrízicos. Cinco de éstos: *Boletus edulis* (porcini), *Cantharellus cibarius* (chanterelle), *Tricholoma matsutake* (matsutake), *Tuber melanosporum* (trufa negra de Périgord) y *Tuber magnatum* (trufa blanca italiana) presentan en conjunto montos en los mercados mundiales por sobre los US \$ 2 billones, habiendo muchos otros de importancia comercializados a nivel local (Wang, 2000).

Para el caso de *Tuber* y *Tricholoma*, los valores alcanzados en los mercados son bastante altos, por lo que las plantaciones son destinadas principalmente a la producción de hongos. Sin embargo, los precios alcanzados por *Boletus edulis*, son mucho menores por lo que se podrían considerar como un cultivo secundario dentro de las plantaciones forestales.

La producción de hongos de *Boletus spp.*, a través del establecimiento de plantaciones con plantas micorrizadas y la obtención de productos fuera de estación para el hemisferio norte, es una de las metas que se persigue a futuro con esta línea de investigación desarrollada por el Instituto Forestal.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Importación del Material

Para llevar a cabo esta investigación, se realizó antes de comenzar los trabajos de inoculación la importación desde España de material fúngico, consistente en inóculos esporales liofilizados de las especies *Boletus edulis* y *B. pinicola*, la que fue preparada por la empresa Micología Forestal & Aplicada, de España. Su introducción al país se llevó a cabo según las normas y reglamentos vigentes para la importación de material vegetal, procedimiento que es regulado en Chile por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Este



contempla la cuarentena, la toma de muestras y su análisis para verificar la ausencia de agentes con prohibición de entrada al país. Una vez analizadas estas muestras por especialistas del SAG y verificada la ausencia de agentes patógenos, la cuarentena fue levantada, lográndose el libre uso del material, tras su previo almacenamiento bajo ambiente controlado.

## **Producción de Plantas**

En forma paralela, se realizó la producción de plantas en el vivero perteneciente a la Sede Bio Bio del Instituto Forestal en Concepción. Esta actividad se realizó bajo un ambiente controlado dentro de un invernadero. Los trabajos iniciales consistieron en la desinfección de semillas, contenedores, sustrato y superficies del recinto que sería utilizado para la producción de las plantas. La desinfección se realizó, utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 10%, junto con asegurar un suministro de agua limpia y un acceso restringido. Estas precauciones permitieron aminorar la contaminación de la plantas con otros tipos de hongos simbioses.

El sustrato utilizado para la producción de plantas fue corteza de pino compostada y tamizada, dejando partículas iguales o menores a los 3 mm. Esta fue desinfectada, para luego ser puesta sobre bandejas de 24 cavidades de 310 cc de volumen cada una. Posteriormente, se realizó la siembra colocando tres semillas por contenedor para asegurar una planta en cada una de los recipientes.

## **Inoculación de la Plantas**

Una vez germinadas las semillas e iniciada la aparición de las raíces secundarias, se realizó la inoculación esporal, mediante la aplicación con jeringa de 15 ml de solución esporal. Cada dosis por planta contempló una carga promedio de  $5 \times 10^6$  esporas viables, las cuales fueron analizadas según test de MTT y contadas en una cámara Neubauer. Luego de realizar la inoculación de las plantas, estas fueron evaluadas después de 8 meses de crecimiento bajo ambiente controlado.

## **Instalación de los Ensayos**

Verificada la micorrización de las plantas, estas fueron llevadas a terreno. La selección de los sitios donde se instaló los ensayos consideró asegurar ciertas condiciones que pudieran favorecer esta relación simbiótica, como son el tipo de uso de los suelos, pH, clima, entre otros.

El tratamiento al suelo consistió en un subsolado en las hileras de plantación, a una profundidad de 50 a 60 cm. Durante el crecimiento de las plantas en terreno, las malezas fueron controladas a través de 2 formas; vía manual a 1 metro desde las planta y mediante la aplicación entre hileras de un herbicida sistémico concentrado soluble (Round-Up en dosis de 4 a 5 litros de producto por hectárea y disuelto en aproximadamente 250 litros de agua). Además, se realizó la fertilización con NPK (14-14-14), adicionando 120 gramos por planta.

Se instaló 3 ensayos, utilizándose para tal efecto un diseño en Parcelas Divididas. Estos se sitúan en las localidades de Pelarco (VII Región), Yumbel (VIII Región) y Reputo (VIII Región). En el diseño se consideró tres bloques, dentro de los cuales se dispuso los factores a evaluar; asociación micorrízica (*Boletus edulis*; *B. pinicola*); espaciamiento (3 x 3 m; 3 x 2 m y 4 x 2 m); más los correspondientes testigos.

## Evaluación de los Ensayos

Se realizó mediciones a un mes de la plantación y a los 24 meses de desarrollo, tomando las variables altura, diámetro a la altura del cuello y sobrevivencia. Por otro lado, se realizó una evaluación a los 12 y 24 meses, con respecto al estado de avance de la micorrización en terreno y los contaminantes que presentaban las raíces de las plantas. El análisis para la identificación de las especies micorrízicas fue realizada por el Equipo de Micología de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción. Para efectuar la toma de muestras, se extrajo una porción de las raíces, realizando una extracción no destructiva de la masa radicular. Esta fue dividida en cuadrantes, dentro de las cuales se extrajo una porción igual de cada una, para posteriormente formar una muestra compuesta, la que fue utilizada para extraer un mínimo de 300 raíces para su análisis.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de Plantas Micorrizadas en Vivero

Los resultados obtenidos de las inoculaciones realizadas en plantas de pino en vivero arrojaron un promedio de 30,5 y 33,2% de raíces micorrizadas con *B. edulis* y *B. pinophilus*, respectivamente. El porcentaje de contaminación alcanzó un nivel cercano al 7%, con presencia de algunos géneros como *Descolea*, *Amanita*, *Tomentella*, *Suillus*, *Telephora* y *Cenococum*. Los porcentajes obtenidos de la micorrización con estas especies, se sitúan por sobre lo mencionado por Morcillo (2003, com. pers.), el cual menciona un promedio de 25% de micorrización para este tipo de inoculantes sobre *Pinus radiata*, mientras que Zuccherelli (1988), sitúa los porcentajes de micorrización entre 122 y 80%. Las metodologías de producción de plantas inoculadas, si bien es cierto dieron resultados alentadores, son factibles de ser mejorados, lo que permitiría obtener plantas con mayores niveles de micorrización.

### Evaluación de Plantas en Terreno

#### Análisis de Micorrización en Ensayos Instalados

Los porcentajes obtenidos en una primera evaluación, a los 12 meses de instaladas las plantas en terreno, dieron valores bastante dispersos, cuyos promedios dieron como resultado porcentajes para *B. edulis* y *B. pinicola* de: 37,49 y 37,65 para Pelarco (VII Región); 11,36 y 18,51 para Cañete (VIII Región) y; 19,99 y 3,75 para Yumbel (VII Región), respectivamente. Posteriormente, se realizó una segunda evaluación, a los 24 meses, observándose también una gran dispersión de los valores porcentuales, con porcentajes



promedio para *B. edulis* y *B. pinicola* de: 17,1 y 11,6 para Pelarco (VII Región); 11,6 y 16,7 para Cañete (VIII Región) y 17 y 10,8 para Yumbel (VII Región), respectivamente.

Respecto de los contaminantes, estos se presentaron en gran cantidad. De las raíces analizadas, casi todas presentaban asociaciones con alguna micorriza, siendo las especies contaminantes las que presentaban el mayor porcentaje de micorrización. Entre las especies contaminantes se encontró a los géneros *Descolea*, *Tomentella*, *Telephora*, *Cenococcum*, *Suillus*, *Scleroderma*, algunos *Basidiomycetes* y *Coracoides*, entre otros.

Transcurrido un período de 24 meses, los resultados obtenidos permiten afirmar que aún persiste la micorrización de las dos especies de *Boletus*. La competencia que se ha producido entre los hongos introducidos y los hongos micorrícicos nativos presentes en el lugar de la plantación podría ser un factor que pudiera haber causado las variaciones porcentuales del grado de micorrización de las plantas con los *Boletus* entre las dos mediciones. Es de esperar que las especies micorrícicas introducidas puedan permanecer en las raíces hasta edades mayores, donde las probabilidades de crecer y producir fructificaciones son superiores.

#### Evaluación del Crecimiento y Supervivencia

Las evaluaciones en estos primeros años fueron dirigidas principalmente a los parámetros para medir crecimiento y supervivencia de las plantas en base al factor asociación planta- hongo micorrícico. Respecto al factor espaciamento, en los primeros dos años de crecimiento no ha ejercido ninguna influencia. Sin embargo, este último factor podría ser gravitante en los próximos años respecto a futuras producciones de hongos comestibles, pues la influencia de la cobertura juega un importante papel en la presencia y montos de producción de los hongos del bosque, al influenciar factores tales como penetración de la luz y del viento, temperatura y humedad ambiental y del suelo entre otros (Bonet *et al.*, 2004).

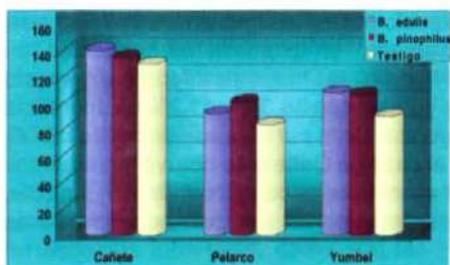
Respecto de la influencia de las plantas micorrizadas y de los testigos sobre la supervivencia de las plantas, no hubo diferencias estadísticamente significativas (Cuadro N° 1). De esta nula diferencia de los testigos con las plantas micorrizadas, se podría deducir que la rápida contaminación de las plantas por otros hongos micorrícicos al momento de establecerse las plantas en terreno, pudiera influir en su supervivencia y crecimiento, lo cual puede verificarse en los análisis realizados para determinar el avance de la micorrización con *B. edulis* y *B. pinicola*. Sin embargo, esta invasión con especies foráneas hasta el momento no ha llegado a desplazar a las introducidas.

**Cuadro N° 1**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SOBREVIVENCIA**

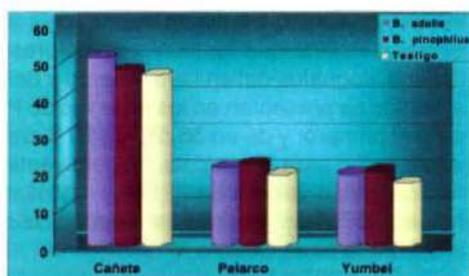
Tratamiento	Yumbel (%)	P=<0,05(*)	Cañete(%)	p=<0,05(*)	Pelarco(%)	p=<0,05(*)
<i>Boletus edulis</i>	90	A	99	A	97	A
<i>Boletus pinicola</i>	91	A	99	A	98	A
Testigo	88	A	99	A	92	A

(\*) Letras distintas indican diferencias significativas

Las evaluaciones en crecimiento realizadas a los ensayos instalados con plantas de *Pinus radiata* inoculadas en los tres ensayos, a los 24 meses de edad, según los análisis realizados y cuyos resultados se aprecian en los gráficos de las Figuras N°s 1 y 2, muestran diferencias en el incremento del crecimiento promedio en altura y diámetro de las plantas inoculadas respecto de las testigo. Los análisis estadísticos de estas, son indicados en el Cuadro N° 2.



**Figura N° 1**  
**INCREMENTO EN ALTURA**  
**PROMEDIO (cm)**



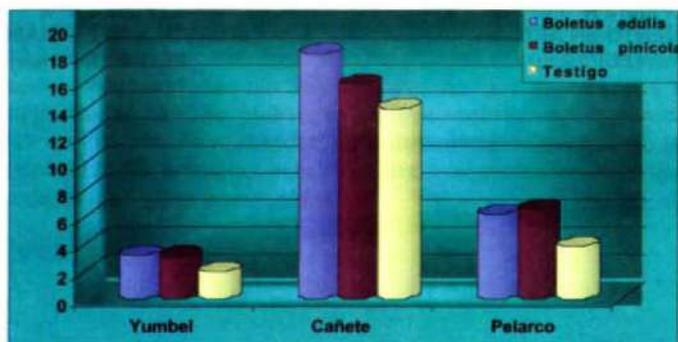
**Figura N° 2**  
**INCREMENTO EN DIÁMETRO**  
**PROMEDIO (mm)**

**Cuadro N° 2**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS INCREMENTOS EN ALTURA (cm) Y DIÁMETRO (mm)**  
**PROMEDIOS**

Incremento de altura promedio						
Tratamiento	Yumbel (cm)	p=<0,05(*)	Cañete(cm)	p=<0,05(*)	Pelarco(cm)	p=<0,05(*)
<i>Boletus edulis</i>	70,8	A	140,6	C	94,94	B
<i>Boletus pinicola</i>	70,51	A	134,76	B	101,04	C
Testigo	67,94	A	130,27	A	83,67	A
Incremento de diámetro promedio						
Tratamiento	Yumbel (mm)	p=<0,05(*)	Cañete(mm)	p=<0,05(*)	Pelarco(mm)	p=<0,05(*)
<i>Boletus edulis</i>	19,62	B	50,92	B	21,18	B
<i>Boletus pinicola</i>	20,31	B	47,63	A	22,18	C
Testigo	17,09	A	46,34	A	19,34	A

(\*) Letras distintas indican diferencias significativas

Los incrementos en volumen obtenidos (Figura N° 3) en plantas micorrizadas con *B. edulis* y *B. pinicola* muestran ser mayores que el obtenido por los testigos en los tres ensayos. Si bien es cierto que los mayores valores de incremento en biomasa se presentan en Cañete, seguidos del ensayo Pelarco y del ensayo Yumbel; las mayores diferencia respecto al testigo se presentan en los ensayos de Pelarco y Yumbel con 38,3% y 41,2% de diferencia para el primero; y de un 36,5% y 35,7% para el segundo, tanto para las asociaciones con *B. edulis* como para *B. pinicola*, respectivamente. En el caso de Cañete se obtuvo incrementos menores, con valores de 22,6% y 11,6%, para las asociaciones con *B. edulis* y *B. pinicola*, respectivamente. El análisis estadístico de los incrementos en la biomasa promedio es presentado en el Cuadro N° 3.



**Figura N° 3**  
**INCREMENTOS RESPECTO AL ÍNDICE DE BIOMASA PROMEDIO D<sup>3</sup>H**  
**(m<sup>3</sup>x10<sup>-3</sup>)**

**Cuadro N° 3**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS INCREMENTOS EN VOLUMEN D<sup>2</sup>H (m<sup>3</sup>x10<sup>-3</sup>)**

Tratamiento	Yumbel (m <sup>3</sup> x10 <sup>-3</sup> )	p=<0,05(*)	Cañete(m <sup>3</sup> x10 <sup>-3</sup> )	P=<0,05(*)	Pelarco(m <sup>3</sup> x10 <sup>-3</sup> )	p=<0,05(*)
<i>Boletus edulis</i>	3,179	B	18,158	C	6,273	B
<i>Boletus pinicola</i>	3,144	B	15,899	B	6,575	B
Testigo	2,017	A	14,059	A	3,870	A

(\*) Letras distintas indican diferencias significativas

De los resultados obtenidos, se podría mencionar que existiría una importante influencia de los hongos *B. edulis* y *B. pinicola*, en el crecimiento, tanto en altura y diámetro, como también en el volumen, obteniéndose incrementos mayores en plantas que cuentan con estas asociaciones micorrícicas.

En estos análisis se deja ver la influencia en el crecimiento de los hongos micorrícicos en relación a los diferentes tipos de sitio, presentando un efecto positivo en sitios con limitaciones, traduciéndose en mayores incrementos en sitios con restricción de precipitaciones y fertilidad de sitio. Es el caso de Pelarco y Yumbel, cuyos sitios bajos en fertilidad y precipitaciones presentan incrementos mucho mayores que Cañete, con suelos muy fértiles y con mayores precipitaciones.

## CONCLUSIONES

En el ámbito mundial, numerosos autores han demostrado la importancia de la simbiosis ectomicorrícica para el crecimiento, desarrollo y supervivencia de muchas familias de especies forestales, como son las *Pinaceas*, las cuales no crecen ni se desarrollan normalmente, si su masa radicular no se encuentra infestado por hongos ectomicorrícicos.

La presencia de plantaciones forestales en un sitio determinado, unido a la deficiencia nutricional que afecta a muchos suelos de Chile y el alto costo de los fertilizantes químicos, hacen necesario el estudio y el desarrollo de fertilizantes no contaminantes y de bajo costo como son los de origen biológico, que en este caso, corresponde a los hongos ectomicorrícicos que pueden garantizar un aumento en la disponibilidad de nutrientes a un bajo costo para la forestación y reforestación con especies maderables.

La introducción de estos fertilizantes biológicos, llamados también biofertilizantes, y de métodos de inoculación más efectivos, aportaría grandes beneficios en el establecimiento de plantaciones en sitios degradados, permitiendo que las plantaciones forestales industriales sean sostenibles, además de la producción de hongos comestibles.

Asegurar un producto silvestre que sea comestible, de alta demanda y de comprobada calidad nutritiva, podría ejercer un fuerte impacto en la rentabilidad de las plantaciones forestales, además de generar un impacto social por la generación de empleos.

Los medianos y pequeños propietarios forestales serían beneficiados directamente con el uso de plantas inoculadas con hongos comestibles en áreas erosionadas o sitios sin uso que pueden ser recuperados, generando, conjuntamente con la madera, otro recurso forestal de interés económico que les permita incrementar sus ingresos con un producto intermedio cosechable a mediano plazo.

Las exportaciones de hongos presentan atractivas posibilidades en los mercados internacionales europeos, norteamericano y asiáticos, para lo cual se hace necesario elevar los rendimientos en la producción de hongos silvestres comestibles, a través de la utilización de plantas micorrizadas con especies de importancia económica, permitiendo entregar mayores áreas para la producción de los hongos deseados.

Todos estos resultados son difíciles de generalizar debido a que los efectos de los distintos tratamientos sobre ciertas especies micorrízicas y su posterior fructificación sólo pueden apreciarse a largo plazo.

En el país existe falta de investigación en esta área, lo que para aprovechar la oportunidad que significa el constante crecimiento de la demanda mundial por estos alimentos, debe ser abordado con urgencia.

Las restricciones en el uso de productos químicos, cuyo objetivo es la mantención de la calidad ambiental (producción limpia), y la grandes superficies que posee el país para forestación, en áreas de secano o con algún grado de degradación, llevará finalmente al camino del uso de tecnologías alternativas, como el empleo de micorrizas.

El comportamiento en terreno y la mejor asociación hongo comestible - especie forestal se presenta como uno de los principales desafíos tecnológicos, en términos de plazos para obtener el producto comestible. A esto se suman los cuidados necesarios para mantener la calidad de la micorrización y poder obtener el producto final y, también, acrecentar la magnitud de la respuesta en crecimiento de la planta, asociados a la futura cosecha de madera.

Finalmente, se espera que esta línea de trabajo llevada a cabo por el Instituto Forestal (INFOR), sea una puerta que permita el surgimiento de nuevas iniciativas de investigación en esta área para colaborar con la innovación y desarrollo del sector forestal chileno.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el financiamiento del proyecto FONDEF D011168 "Hongos Micorrízicos Comestibles: Una Alternativa para Mejorar la Rentabilidad de Plantaciones Forestales", así como al personal de las empresas y propietarios particulares, sin los cuales esta investigación no se hubiera materializado.

## REFERENCIAS

- Bonet, J.; Fischer, C.; Colinas, C.L., 2004.** The Relationship between Forest Age and Aspect on the Production of Sporocarps of Ectomycorrhizal Fungi in *Pinus sylvestris* Forests of the Central Pyrenees. *Forest Ecology and Management* 203:157–175
- Chung, P., 2005.** Hongos Micorrízicos Comestibles. Opción Productiva Aplicada a las Plantaciones Forestales. Aspectos Generales. INFOR. Sede Bio Bio. 55 p.
- Dans, F; Fernández, F. y Romero, A., 1999.** Manual de Selvicultura del Pino Radiata en Galicia. <http://agrobyte.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/pinoradiata/indice.html>
- FAO, 1992.** Productos Forestales no Madereros: Posibilidades Futuras. Estudio FAO Montes, nº 97. 36 pp.
- Garrido, N., 1986.** Survey of Ectomycorrhizal Fungi Associated with Exotic Forest Trees in Chile. Berlin - Stuttgart. *Nova Hedwigia* 43. 3-4. 423-442.
- Gysling, J.; Aguirre, J.; Casanova, K. y Cheng, P., 2005.** Estudio de Mercado. Hongos Silvestres Comestibles. INFOR. Sede Bio Bio. 83 p.
- INFOR – CORFO, 1989.** Exportaciones de Hongos Silvestres. Boletín de Mercado Forestal. Año VIII, n. 104. pp: 2-4.
- Montecinos, M., 2000.** Cepas Fisiológicamente más Adaptadas. Santiago, Chile. Bioplanet, biotecnología para sus negocios. Año 1, n. 5. pp.22
- Morcillo, M., 2005.** Ectomicorizas. Aplicaciones en restauración del paisaje y en el cultivo de hongos comestibles. *Revista Terralia* N°16. Pp: 22-32. <http://www.terralia.com/revista16/>
- Oria de Rueda, J. A., 1989.** Silvicultura y Ordenación de Montes Productores de Hongos Micorrízicos Comestibles. *Bol. Soc. micol. Madrid*, 13: 175-188.
- Oria de Rueda, J. A., 1991.** Bases para la Selvicultura y Ordenación de Montes Productores de Hongos Micorrízicos Comestibles. *Montes*, 26: 48-55.
- Reyna, S., 2000.** La Trufa, Truficultura y Selvicultura Trufera. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 229 pp.
- Vasco, F., 2003.** Aspectos Biológicos de la Unión Hongo-Planta (Micorizas). *Boletín de ARBA*. N°12. Pp: 27-30.
- Zuccherelli, G., 1988.** First Experiences with Production of Forest Plants Inoculated with *Boletus edulis*. *Monti e Boschi* n1 39 (3) 11-14. Italia.
- Wang, Y. and Hall, I., 2000.** Edible Mycorrhizal Mushrooms. Australasian Mycological Society Conference. 8 de Mayo de 2000. Te Anau, New Zealand. ABSTRACTS 2000. [http://bugs.bio.usyd.edu.au/AustMycolSoc/Conferences/2000/2000\\_abstracts.html](http://bugs.bio.usyd.edu.au/AustMycolSoc/Conferences/2000/2000_abstracts.html)



---

# INDICADOR DE EXPECTATIVA SECTORIAL PARA EL SECTOR INDUSTRIAL MADERERO DE CHILE

Cristian Pérez S.<sup>1</sup>; Jorge Cabrera P.<sup>2</sup>; Gonzalo Hernández C.,<sup>3</sup>

## RESUMEN

En este artículo se define un indicador de expectativas y se describe el método utilizado en su determinación para el sector industrial maderero de Chile.

Los rubros considerados corresponden a la madera aserrada, muebles, madera estructural y de revestimientos y viviendas. En los dos primeros casos se contempla indicadores para los mercados nacional e internacional, en tanto que los restantes sólo contemplan indicadores para el mercado nacional.

Se informa los indicadores obtenidos desde el trimestre abril/junio del 2004 hasta los del trimestre abril/junio del 2007.

Los índices de expectativas sectoriales son emitidos trimestralmente por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), con el patrocinio de la Asociación de Industriales de la Madera (ASIMAD) y la colaboración del Instituto Forestal (INFOR).

**Palabras clave:** Indicador, economía, industria maderera.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, CONAF, cperez@conaf.cl,

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal, INFOR, jcabrera@infor.cl,

<sup>3</sup> Ingeniero Civil, INFOR, ghernand@infor.cl



## FOREST INDUSTRIAL SECTOR EXPECTATION INDICATORS IN CHILE

### SUMMARY

This article defines an "expectation indicator" and describes the methodology used in its determination for the Chilean wood industry.

The areas considered are sawn lumber, structural lumber, siding lumber, furniture and housing. The first two cases consider indicators for both the national and international markets. The balance of the cases considers indicators for the national market only.

The indicators relate to the trimester periods from April-June 2004 to April-June 2007.

The expectation indicators per sectors are emitted every three months by the Corporación Nacional Forestal (CONAF), under the sponsorship of the Asociación de Industriales de la Madera (ASIMAD), with the collaboration of the Instituto Forestal (INFOR).

**Key words:** Expectation indicator, economics, wood industry.

## INTRODUCCIÓN

Los índices de expectativas o de confianza son utilizados ampliamente en países desarrollados desde principios del siglo XX. El caso de EE.UU. es conocido mundialmente por sus altos niveles de información, ya que posee cifras e indicadores para casi todas las variables de interés económico.

Los índices de confianza del consumidor más conocidos en los EEUU son el determinado por el Conference Board y el desarrollado por la Universidad de Michigan; indicadores que tienen efectos sobre el ánimo de las personas y son una buena medida para conocer los factores que motivan la decisión de compra de los consumidores.

En Chile existen diversos índices de confianza, tanto a nivel empresarial como a nivel de consumidores. Dentro de los primeros se encuentran el de la Universidad del Desarrollo, el de la Confederación de la Producción y del Comercio (CPC) y el del Banco Central. Este último de emisión mensual y desarrollado con la asistencia de la Universidad Adolfo Ibáñez e ICARE. Ejemplos de indicadores de confianza del consumidor son el de la Cámara de Comercio de Santiago (CCS); el índice IPEC, elaborado por Adimark; y el del Centro de Investigación en Empresas y Negocios (CIEN), de la Universidad del Desarrollo y Mall Plaza.

El Índice de Expectativas Empresariales Sectoriales, que emite trimestralmente la Corporación Nacional Forestal, es un instrumento periódico de medición para el sector industrial de la madera, patrocinado por la Asociación de Industriales de la Madera (ASIMAD), y la colaboración y ejecución del Instituto Forestal. Para su generación se adaptó la metodología utilizada por la Universidad de Michigan denominada "Consumer Sentiment Index".

El indicador de expectativas del sector industrial maderero de Chile es el primer esfuerzo a nivel sectorial y su desarrollo data desde fines del año 2003. La importancia del índice de expectativa sectorial se explica debido a que el optimismo hacia la economía genera confianza en las empresas y, como consecuencia, el deseo de invertir y contraer deudas, mientras que la incertidumbre produce pesimismo y, por ello, el deseo de reducir gastos y reorganizar las reservas financieras. Debido a que el cambio en las expectativas de los consumidores ocurre previo al suceso, se asume que su medición puede actuar como un indicador adelantado de la actividad económica global. Actualmente el índice de expectativas se distribuye a una amplia gama de actores sectoriales, principalmente empresarios a través de formato electrónico.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Desarrollar un índice de expectativas empresariales para el sector de la industria secundaria de la madera en Chile.

## Objetivos Específicos

Contar con un instrumento que permita monitorear las expectativas sectoriales de corto plazo, expresado en un índice de emisión trimestral que permita monitorear el comportamiento del sector industrial maderero de Chile.

Contribuir con instituciones sectoriales en el análisis de la información, de manera de apoyar la toma de decisiones para futuros programas de fomento del sector.

## MATERIAL Y MÉTODO

La metodología utiliza encuestas con preguntas cualitativas relacionadas con las finanzas de la empresa, expectativas de ventas, gastos operacionales y expectativas respecto de la economía local. Las preguntas comparan resultados esperados del trimestre que viene en relación con el trimestre pasado. Cada respuesta debe corresponder a una de las categorías: mayor, igual o menor, con puntajes asignados de 3, 2 y 1, respectivamente.

La interpretación de los resultados se basa en asociar estos valores a un índice con escala base 100 (estabilidad) y con variaciones máximas de 50 a 150 (expectativa pesimista y optimista, respectivamente). Si el indicador está sobre 100, las expectativas de los agentes económicos son consideradas positivas. Si baja de 100 se consideran negativas y, si está en torno a 100 se considera una expectativa de estabilidad (CONAF, 2003).

La toma de datos se realiza trimestralmente bajo formato electrónico, encuestas vía correo electrónico o teléfono.

Para el último indicador se encuestó a un total de 187 empresas, donde un 16% correspondió al rubro madera aserrada nacional, un 10% a madera aserrada exportación nacional, un 16% a madera estructural y revestimiento, un 10% a viviendas madera nacional, un 40% a muebles nacional y un 8% a muebles exportación.

Sobre esta base, se desarrolló índices de expectativas empresariales para cuatro rubros ligados al sector de la industria forestal. Los indicadores son: indicador de expectativas de vivienda de madera, indicador de expectativas del sector madera aserrada, indicador de expectativa del sector madera de revestimiento y madera estructural e indicador de expectativas del sector muebles. Cada indicador tiene una versión para el mercado local y para el mercado de exportación, con la excepción de los sectores vivienda y madera estructural y revestimiento.

Las empresas encuestadas son clasificadas por categoría: pequeñas, medianas, grandes y distribuidores, lo que permite desarrollar un indicador parcial por categoría de empresas.

Respecto de la fórmula de cálculo, en la determinación de los indicadores se aplica el diseño genérico que se describe en el cuadro siguiente para facilitar su comprensión.

**Cuadro N° 1**  
**MATRIZ GENÉRICA PARA LA DETERMINACIÓN DE INDICADORES POR RUBRO**

Preguntas(J)	Categorías(I)					P <sub>1</sub>	
	Pequeña P <sub>1</sub>	Mediana P <sub>2</sub>	Grande P <sub>3</sub>	Distribuidor			
	MED <sub>(1,1)</sub>	.....	.....		MED <sub>(4,1)</sub>		IND(a) <sub>1</sub>
	.....	.....	.....		.....		IND(a) <sub>2</sub>
	.....	.....	.....		.....		IND(a) <sub>3</sub>
	.....	.....	.....		.....		IND(a) <sub>4</sub>
	MED <sub>(1,5)</sub>	.....	.....		MED <sub>(4,5)</sub>		IND(a) <sub>5</sub>
	IND(b) <sub>1</sub>	IND(b) <sub>2</sub>	IND(b) <sub>3</sub>		IND(b) <sub>4</sub>		IEE

En que **IEE** = Índice de expectativas empresarial  
**IND(b)<sub>i</sub>** = Índice parcial de expectativas por rubro  
**IND(b)<sub>j</sub>** = Índice parcial de expectativas por pregunta  
**P<sub>i</sub>** =  
 Participaciones parciales de cada categoría por rubro

**Obtención de la media para cada pregunta:** El número de empresas entrevistadas para cada categoría es N<sub>i=1 a 4</sub>, existen 4 categorías (pequeñas, medianas, grandes y distribuidores), por lo tanto, se obtiene la media para cada pregunta en cada categoría.

$$MED_{ij} = (1 \cdot X_i + 2 \cdot Y_i + 3 \cdot Z_i) / 100$$

En que:

X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub> son los porcentajes de respuestas 1, 2 y 3 por cada pregunta, i son las categorías y j son las preguntas.

**Obtención del índice parcial para cada pregunta:** El índice final es un promedio de las cinco preguntas; sin embargo, para fines de análisis es interesante obtener un índice para cada pregunta:

$$IND(a)_{j=1 a 5} = \sum_{i=1 a 4} MED_i \times P_i \times 100 / 2$$

En que:

P<sub>i</sub> es la importancia relativa de cada categoría expresada en porcentajes y 2 corresponde al valor línea base "igual" (que corresponde a 100). J son las preguntas de 1 a 5. El IND<sub>j</sub> variará entre los rangos de 50 y 150.

**Obtención del índice parcial para cada categoría:** Este índice se obtiene por el interés que tiene ver la diferencia de expectativas entre un sector y otro:

$$IND(b)_{i=1,4} = \sum_{j=1,5} MED_{ij} \times 100 / (2 \times 5)$$

En que:

El valor 2 es línea base "igual" (que corresponde a 100)

El valor 5 corresponde al número de preguntas

El  $IND_j$  variará entre los rangos de 50 y 150.

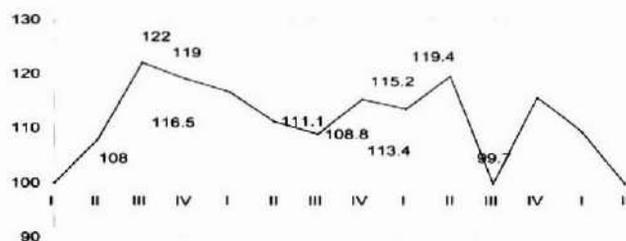
**Obtención del índice de Expectativa Empresarial:** Este índice se obtiene por el interés que tiene ver la diferencia de expectativas entre un sector y otro:

$$IEE = \sum_{i=1,4} \sum_{j=1,5} MED_{ij} \times 100 / (2 \times 5) \times P_i$$

El formato del formulario utilizado para aplicar la encuesta se entrega en Apéndice N° 1.

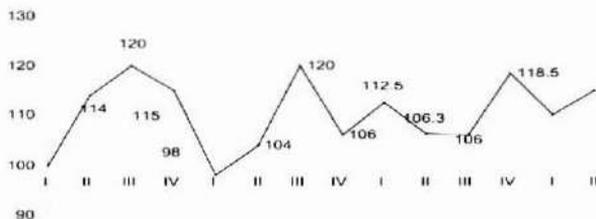
## RESULTADOS

El comportamiento de los indicadores de expectativas sectoriales entre los años 2004 y 2007 se muestra en las siguientes figuras. El último indicador medido corresponde al trimestre abril/junio del 2007.



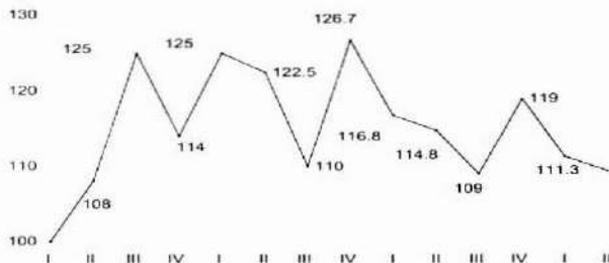
**Figura N° 1**  
**MADERA ASERRADA MERCADO NACIONAL**

En el sector de la madera aserrada nacional, el índice bajó un 8,9%, para ubicarse en 99,7 puntos, siendo el único segmento que se ubica bajo los 100 puntos y llega al rango levemente pesimista. En los últimos años el promedio del indicador fue de 112,9 para el 2005, de 112 para el 2006, y 104,5 en el primer semestre del 2007



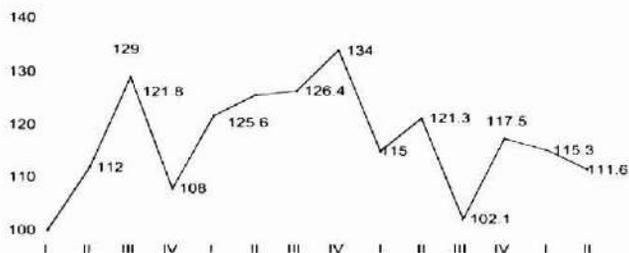
**Figura N° 2**  
**SECTOR MADERA ASERRADA MERCADO DE EXPORTACIÓN**

El mercado de exportación de madera aserrada tuvo un alza de un 4,5%, respecto del trimestre enero – marzo del 2007, llegando hasta el rango de expectativas moderadamente optimistas con 115 puntos. Desde el 2005 a la fecha este indicador ha mostrado una tendencia al alza en las expectativas de este sector. El índice en el 2005 fue de 107 en promedio, alcanzó un valor de 110,8 en el 2006 y de 112,5 en el primer semestre del 2007.



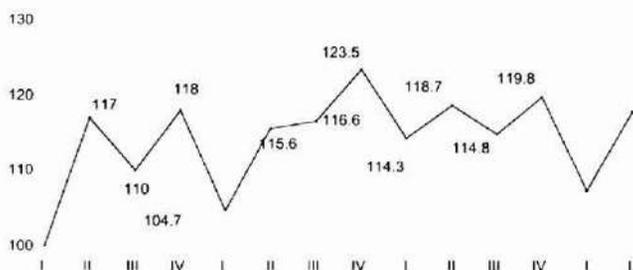
**Figura N° 3**  
**SECTOR MADERA ESTRUCTURAL Y REVESTIMIENTOS, MERCADO NACIONAL**

El rubro nacional de madera estructural y de revestimiento registró un leve descenso de un 1,7% para llegar a los 109,4 puntos, bajando al rango levemente optimista. Este sector ha mostrado una disminución de sus expectativas, pasando desde 122,5 el segundo trimestre del 2005 a 109,4 en el mismo trimestre del 2007.



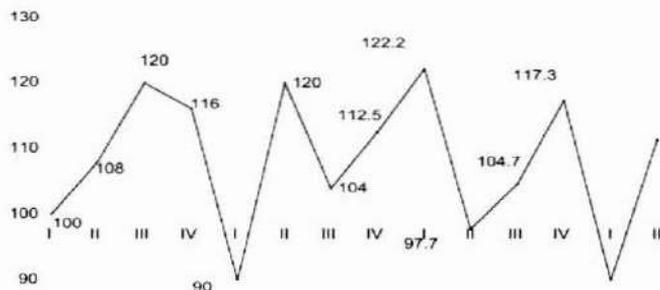
**Figura N° 4**  
**SECTOR VIVIENDAS DE MADERA, MERCADO NACIONAL**

En el caso del índice de expectativas para el mercado nacional de viviendas de madera, éste también experimentó una leve baja frente al trimestre anterior, de un 3,2%, para ubicarse en 111,6 puntos, manteniéndose en el rango de expectativas moderadamente optimistas. Respecto del segundo trimestre de los años 2006 y 2005, se observa una caída del índice respecto del registrado en el 2007.



**Figura N° 5**  
**SECTOR MUEBLES DE MADERA, MERCADO NACIONAL**

El segmento de mercado nacional para muebles subió un 9,9%, respecto del primer trimestre del 2007 para llegar a 117,9 puntos (moderadamente optimista). En este segmento el índice ha mostrado una expectativa de estabilidad a partir del 2005.



**Figura N° 6**  
**SECTOR MUEBLES DE MADERA, MERCADO DE EXPORTACIÓN**

El segmento mercado exportación para muebles mostró un alza de un 23,7%, llegando hasta los 111,3 puntos, que corresponde a expectativas moderadamente optimistas. En este segmento se observa una tendencia con mayor variabilidad, cayendo el indicador en tres oportunidades al rango moderadamente pesimista desde que se realizan mediciones.

## DISCUSIÓN

Al comparar los indicadores de los trimestres octubre/diciembre 2004 y abril/junio 2007, se observa una caída en 4 de los 6 subsectores encuestados. La excepción se produce en los sectores estructural - revestimiento y viviendas de madera, ambos del mercado nacional.

El rubro de la construcción está muy ligado a la demanda de madera aserrada que se comercializa en el país, caracterizado por un aumento de su actividad en los meses estivales y disminuyendo en invierno. No obstante que el índice de expectativas del sector madera aserrada presenta una baja, el sector se mantiene dentro del rango optimista.

Durante el segundo cuatrimestre del año 2004 las exportaciones forestales chilenas totalizaron US\$ 301,2 millones, segunda cifra record en la historia de la exportación de productos forestales, lo que implicó el crecimiento de un 43,6% respecto de igual periodo del año 2003.

No obstante que estas cifras globales representan el comportamiento del producto celulosa, no lo es para los subsectores madera aserrada, tableros, remanufacturas, astillas y rollizos, los cuales han debido afrontar precios que están en los valores más bajos de los últimos 10 años.

A octubre de 2004 la balanza comercial del sector mueble arrojó un déficit de US\$ 5,5 millones debido a un incremento de un 32% de las importaciones respecto a igual período del 2003. Las cadenas de retail, principalmente, han vuelto a importar con la misma fuerza que hace 10 años. Esta mayor importación de muebles está siendo acompañada por la baja experimentada por el dólar.

## CONCLUSIONES

La herramienta implementada por CONAF, con la participación de INFOR y ASIMAD, que evalúa el nivel de expectativas de 6 subsectores de la industria de la madera de Chile, se encuentra consolidada respecto del número de empresas participantes y el número de destinatarios.

En la elaboración del último indicador fueron encuestadas 187 empresas, consultándose a por correo electrónico a 650 destinatarios de los sectores público y privado del ámbito forestal.

El indicador de expectativa sectorial para el sector industrial y maderero se complementa adecuadamente con otros indicadores sectoriales presentes en el país (ICE, ADIMARK, BBVA, IMCE, entre otros).

## REFERENCIAS

**CONAF, 2003.** Diseño de Indicadores de Expectativas Empresariales del Sector Forestal. Informe Interno de Proyecto CONAF – TMI Chile S.A. Diciembre 2003, 22 páginas.

**IMCE, 2005.** Indicador Mensual de Confianza Empresarial IMCE. Universidad Adolfo Ibáñez – ICARE. [www.icare.cl](http://www.icare.cl).

Apéndice N° 1

FORMATO FORMULARIO ENCUESTA APLICADA

Indicador Madera Aserrada

FAX :  
 Contacto:

Entiéndase por madera aserrada a toda aquella que proviene del aserradero con excepción de las piezas de 2" x 2" y 2" x 3" que se califican como estructural.

**Nombre:** Si su mercado es nacional responda la columna izquierda, si su mercado es de exportación conteste la columna derecha, si tiene mercado nacional y de exportación conteste ambas columnas  
**E-mail:**  
**Empresa:**

**Sólo mercado nacional**

**Exportación (sólo si exporta)**

- |               |  |  |  |  |
|---------------|--|--|--|--|
| Pregunta<br>1 | ¿Sus volúmenes de venta de madera aserrada espera que sean mayores, menores o iguales el próximo trimestre en comparación al anterior?   | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> | ¿Sus volúmenes de exportaciones de madera aserrada espera que sean mayores, menores o iguales el próximo trimestre en comparación al anterior?   | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> |
| Pregunta<br>2 | ¿Sus volúmenes de venta acumulados de madera aserrada espera que sean mayores, menores o iguales el próximo trimestre en comparación a sus volúmenes de venta acumulado al mismo período del año anterior?           | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> | ¿Sus volúmenes de exportaciones acumulados de madera aserrada espera que sean mayores, menores o iguales el próximo trimestre en comparación a los volúmenes acumulados en el mismo período del año anterior?        | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> |
| Pregunta<br>3 | ¿Sus gastos de operación (gastos generales, administrativos y de ventas), para el trimestre que viene espera sean mayores, menores o iguales que los gastos del trimestre anterior?                                  | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> | ¿Sus gastos de operación (gastos generales, administrativos y de ventas), para el trimestre que viene espera sean mayores, menores o iguales que los gastos del trimestre anterior?                                  | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> |
| Pregunta<br>4 | ¿Sus gastos de operación acumulados (gastos generales, administrativos y de ventas), para el trimestre que viene espera sean mayores, menores o iguales que los gastos acumulados al mismo período del año anterior? | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> | ¿Sus gastos de operación acumulados (gastos generales, administrativos y de ventas), para el trimestre que viene espera sean mayores, menores o iguales que los gastos acumulados al mismo período del año anterior? | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> |
| Pregunta<br>5 | ¿Está usted más o menos optimista, en relación al trimestre venidero, sobre la economía local (más optimista, neutral, menos optimista)?   | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> | ¿Está usted más o menos optimista, en relación al trimestre venidero, sobre la economía local (más optimista, neutral, menos optimista)?   | Menor <input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> |



---

## COMPETENCIA Y SU RELACION CON LOS PARAMETROS GENETICOS EN CLONES DE EUCALIPTO

Nahum M. Sanchez Vargas<sup>1</sup> y J. Jesús Vargas Hernandez<sup>2</sup>

### RESÚMEN

La necesidad por acelerar los beneficios derivados del mejoramiento genético ha llevado a los genetistas a la búsqueda de alternativas para acortar el periodo de selección y comprender el crecimiento de los árboles de tal manera que puedan desarrollarse mejores procesos de evaluación y selección genética. En condiciones naturales el crecimiento de los árboles está influenciado por el clima, las condiciones del suelo y la disponibilidad de agua, entre otros factores. Sin embargo, aún cuando estos factores sean relativamente homogéneos en todo el ensayo, el crecimiento de los árboles será afectado por la competencia entre ellos. Los efectos de la competencia pueden ser explicados por el nivel de competencia (intensidad) y tipo de competencia (inter e intragenotípica). En este trabajo se evaluó el desempeño genético de 25 clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake con base en información de cuatro ambientes de competencia (AC) durante los primeros 12 meses de edad. Los resultados muestran un mayor control genético de las características de crecimiento en los AC intergenotípica extrema que en el nivel intermedio de competencia intergenotípica o competencia intragenotípica. También hubo cambios de un ambiente de competencia a otro en la tendencia de las correlaciones edad-edad, debido tanto al nivel como al tipo de competencia. Después de los seis meses de crecimiento se modificó en gran medida el desempeño de los clones de un ambiente a otro, por lo que se concluye que los parámetros genéticos pueden ser afectados por el nivel y tipo de competencia.

**Palabras claves:** Mejoramiento genético, *Eucalyptus urophylla*, competencia.

---

<sup>1</sup> Instituto de Investigación Agropecuaria y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. nsanchez@yahoo.com

<sup>2</sup> Colegio de Post Graduados, Texcoco, México

## COMPETITION AND ITS RELATION WITH GENETIC PARAMETERS IN EUCALYPT CLONES

### SUMMARY

The needs to accelerate the benefits derived from tree improvement has taken the tree breeders to search for alternatives to shorten the selection period and to understand tree growth such that better processes of genetic test and selection can be developed. Under natural conditions tree growth is influenced by climate, soil conditions and water availability, among other factors. However, even when these factors are relatively homogeneous in a given test site, tree growth will be affected by competition among them. The effects of competition can be explained by the level of competition (intensity), and the type of competition (intergenotypic or intragenotypic). In this work the genetic performance of 25 clones of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake was evaluated based on information from four competition environments during the first 12 months of age. Results show a higher genetic control of growth traits in environments with extreme intergenotypic competition than in those with intermediate level of intergenotypic competition or intragenotypic competition. Results also show changes from an environment to the other one in the age-age correlations trend, due both kind of competition among levels and between types. After six months, the clone performance was modified from an environment to the other. Hence, it is concluded that the genetic parameters can be affected by the level and type of competition.

**Keywords:** Genetic Improvement, *Eucalyptus urophylla*, competition.

## INTRODUCCIÓN

Para acelerar los beneficios del mejoramiento genético se han buscado alternativas, a través del desarrollo de mejores procesos de evaluación, que permitan acortar los períodos de selección genética. El establecimiento de ensayos en los que se hace evaluaciones tempranas del crecimiento de los árboles es cada vez más común. En condiciones naturales el crecimiento de los árboles está influenciado por el clima, las condiciones del suelo y la disponibilidad de agua, entre otros factores. Sin embargo, aún cuando estos factores sean relativamente homogéneos en un área determinada, el crecimiento de los árboles será afectado por la competencia entre ellos. Así, las evaluaciones que se hagan de los parámetros genéticos en edades tempranas deben ser confiables y simular los cambios que se expresan de manera natural en los parámetros genéticos a través del tiempo. Una estrategia para reducir la edad de selección es el establecimiento de ensayos a menor espaciamiento, en los que se espera que los individuos tengan un desarrollo similar, pero más acelerado que los plantados a espaciamientos operativos (Amateis et al., 2003). De esta manera se obliga a los individuos a expresar sus habilidades de desarrollo con anterioridad al someterse a competencia temprana (Bouvet et al., 2003). Además, la estimación de los parámetros genéticos puede ser diferente cuando los individuos son plantados en bloques de un solo genotipo que cuando lo son en bloques de genotipos diferentes (Adams et al., 1973).

## OBJETIVO

Determinar el efecto del nivel y tipo de competencia sobre los la estimación de los parámetros genéticos para caracteres de crecimiento de clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.

## ANTECEDENTES

Los genotipos pueden comportarse de manera diferente en función del tipo de competencia (Donald, 1968) e influir sobre los parámetros genéticos estimados. Bajo el concepto de competencia temprana se desarrollan estudios que intentan explicar el comportamiento de los parámetros genéticos en individuos de edades avanzadas, con base en el análisis de ensayos juveniles (Jonsson, et al., 2000). También se establecen ensayos en campo que son evaluados en edades tempranas (Brouard y John, 2000), o en períodos sucesivos de tiempo a través del tiempo (Bouvet et al., 2003). Y se ha explorado el comportamiento de los parámetros genéticos cuando los árboles se plantan en función del tipo de competencia (inter o intragenotípica) (Adams, 1980).

En años recientes se inició en el sureste mexicano un programa de plantaciones comerciales con *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake para la producción de celulosa y papel. A partir de las primeras plantaciones se inició un programa de evaluación y selección de clones con el propósito de aumentar la productividad de las plantaciones mediante el uso extensivo de clones de alto rendimiento en producción de madera. Los ensayos de evaluación de clones comúnmente utilizan parcelas de un solo árbol (i.e., parcelas con mezclas de clones) sin embargo, por razones de manejo, las plantaciones comerciales generalmente se establecen en bloques monoclonales. Si los clones responden de manera diferente al tipo de competen-

cia genotípica, los clones más productivos en parcelas multiclonales no necesariamente serán los más productivos en parcelas monoclonales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Establecimiento del Ensayo

Se evaluó cuatro AC: (I) clones mezclados plantados a espaciamientos de 2,6 x 3,5 m (1.099 árboles ha<sup>-1</sup>); (II) clones mezclados plantados a 1,3 x 1,75 m (4.348 árboles ha<sup>-1</sup>); (III) clones mezclados plantados a 0,65 x 0,88 m (17.483 árboles ha<sup>-1</sup>); y (IV) clones en parcelas monoclonales plantados a 0,65 x 0,88 m (17.483 árboles ha<sup>-1</sup>). Los tres primeros ambientes (I, II y III) permiten evaluar el efecto de la intensidad de competencia, mientras que los últimos dos (III y IV) permiten comparar el tipo de interacción genotípica. Se usó un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con cinco repeticiones. En las parcelas grandes se asignó los diferentes AC y en las parcelas chicas se asignó los clones. Cada clon estuvo representado por cuatro rametos en cada bloque. A partir de establecida la plantación se fueron realizadas mediciones mensuales de altura total hasta los seis meses de edad, cuando los árboles de las parcelas de menor espaciamiento iniciaron la etapa de mayor competencia asociada con un aumento gradual en mortalidad. Posteriormente se realizó mediciones bimestrales hasta que el ensayo alcanzó un año de edad (la mortalidad en los primeros seis meses fue menor del 5% y al final del año alcanzó un 35% en promedio en las parcelas de menor espaciamiento).

### Estimación de Parámetros Genéticos

Se realizaron análisis para cada ambiente utilizando la altura inicial ( $H_0$ ) como covariable con el siguiente modelo en el que  $B$  y  $H_0$  se consideraron como efectos fijos:

$$Y_{ikl} = \mu + B_i + H_0 + C_k + BC_{ik} + e_{ikl} \quad (2)$$

Donde:  $Y_{ikl}$  es el valor observado;  $\mu$  es el valor promedio de la población;  $B_i$  es el efecto de bloque;  $C_k$  es el efecto de clon;  $BC_{ik}$  es el efecto de la interacción y  $e_{ikl}$  es el error experimental.

La heredabilidad en sentido amplio a nivel de rametos ( $H^2_i$ ) y de las medias de clones ( $H^2_C$ ) se estimó con las siguientes fórmulas (Sánchez-Vargas *et al.*, 2004):

$$H^2_i = \sigma^2_C / (\sigma^2_C + \sigma^2_{BC} + \sigma^2_e) \quad (3)$$

$$H^2_C = \sigma^2_C / [(\sigma^2_e) + (\sigma^2_{BC} / n) + (\sigma^2_b / nb)] \quad (4)$$

Donde  $\sigma^2_C$  es la varianza de clon,  $\sigma^2_{BC}$  es la varianza de la interacción,  $\sigma^2_e$  es la varianza del error,  $b$  es el número de bloques (5) y  $n$  es la media armónica del número de árboles por parcela a una edad determinada.

El error estándar de la heredabilidad ( $\sigma_{H^2}$ ) se calculó con el método de Dickerson (Dieters *et al.*, 1995). También se estimaron las correlaciones genéticas a diferentes edades ( $r_{g(a1,a2)}$ ).

considerando que cada edad representa a una característica diferente (X y Y), con la siguiente fórmula (Falconer y Mackay, 2001):

$$r_g = \text{Cov}_{C(X,Y)} / (\sigma^2_{C(X)} \sigma^2_{C(Y)})^{0.5} \quad (5)$$

Donde  $\text{Cov}_{C(X,Y)}$  es la covarianza de clones entre las edades X y Y, y  $\sigma^2_{C(X)}$  y  $\sigma^2_{C(Y)}$  son las varianzas de clones para las mismas edades.  $\text{Cov}_{C(X,Y)}$  se estimó a partir de los componentes de varianza obtenidos para la suma de las edades X e Y, utilizando la siguiente ecuación (Rice, 1988):

$$\text{Cov}_{C(X,Y)} = [\sigma^2_{C(X+Y)} - (\sigma^2_{C(X)} + \sigma^2_{C(Y)})]/2 \quad (6)$$

Donde  $\sigma^2_{C(X+Y)}$  es la varianza de clones de la variable X + Y.

Un análisis de correlaciones entre diferentes edades se realizó utilizando el método de Lambeth (1980):

$$r_{g(a1,a2)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot LCE \quad (7)$$

Donde  $r_{g(a1,a2)}$  es la correlación genética de una característica en la edades uno y dos,  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son los coeficientes de regresión y LCE es el logaritmo natural del cociente entre las dos edades (a<sub>1</sub>/a<sub>2</sub>) de medición.

## Desempeño de los Clones

Para estimar la estabilidad en el desempeño de los clones se obtuvo los componentes de varianza utilizando un modelo similar al (2) pero adicionando el factor ambiente de efectos fijos (A) con las respectivas interacciones. Se estimó la correlación genética tipo B ( $r_B$ ) con la siguiente fórmula (Lambeth *et al.*, 1994), analizando niveles (ambientes I, II y III) y tipos (ambientes III y IV) de competencia por separado:

$$r_B = \sigma^2_c / (\sigma^2_c + \sigma^2_{AC}) \quad (9)$$

Donde  $\sigma^2_c$  es la varianza de clones y  $\sigma^2_{AC}$  es la varianza de la interacción de clones x AC a una edad determinada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Heredabilidad

La heredabilidad de las características de crecimiento fue mayor en los AC intergenotípica extrema (I y III) (Cuadro N° 1). En el ambiente II la heredabilidad fue prácticamente nula (Cuadro N° 1) debido a la falta de variación genética, sin embargo, en el AC intragenotípica (IV) en los primeros meses de crecimiento la heredabilidad decrece gradual-



mente a partir de los cuatro meses de edad hasta alcanzar valores de cero a los ocho meses (Cuadro N° 1). El aumento en la heredabilidad observado después de los seis meses de edad en los ambientes I y III es más notorio en el diámetro, con valores similares en estos dos AC.

El comportamiento de  $H^2_c$  es similar al observado en un ensayo de híbridos de *Eucalyptus urophylla* \_ *E. pellita* y *E. urophylla* \_ *E. grandis* evaluado a un espaciamiento de 3 x 5 m durante los primeros 3-4 años de edad (Bouvet y Vigneron, 1995). En el AC intragenotípica la heredabilidad cae entre los seis y ocho meses de edad, cuando la competencia dentro de las parcelas monoclonales se incrementa y anula las diferencias genéticas entre los clones (Cuadro N° 1). En general, el error estándar de la heredabilidad fue alto cuando se encontró variación genética (entre 0,03 y 0,11 para  $H^2_i$  y entre 0,21 y 0,34 para  $H^2_c$ ), pero esto es común en trabajos similares con material clonal, debido a que no se incluye un número elevado de clones en los ensayos de evaluación genética (Balocchi et al. 1993). La reducción de la heredabilidad, conforme aumentó la competencia intragenotípica en el ambiente IV, puede tener repercusiones negativas en la ganancia genética esperada cuando los genotipos seleccionados en ensayos con parcelas en mezcla sean plantados operativamente en grandes bloques monoclonales (Adams, 1980).

Cuadro N° 1.

HEREDABILIDADES EN SENTIDO AMPLIO  $\pm$  ERROR ESTÁNDAR A NIVEL DE RAMETOS ( $H^2_i$ ) Y DE LA MEDIA DE CLONES ( $H^2_c$ ) PARA LA ALTURA A DIFERENTES EDADES (MESES) EN CLONES DE *Eucalyptus urophylla* EN CUATRO AMBIENTES DE COMPETENCIA

Ambientes (Edad)	$H^2_i$				$H^2_c$			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	0.00 $\pm$ 0.06	0.00 $\pm$ 0.00	0.18 $\pm$ 0.11	0.01 $\pm$ 0.07	0.00 $\pm$ 0.29	0.00 $\pm$ 0.00	0.73 $\pm$ 0.30	0.08 $\pm$ 0.33
3	0.10 $\pm$ 0.06	0.02 $\pm$ 0.03	0.23 $\pm$ 0.09	0.08 $\pm$ 0.06	0.57 $\pm$ 0.30	0.17 $\pm$ 0.34	0.80 $\pm$ 0.30	0.48 $\pm$ 0.34
4	0.17 $\pm$ 0.08	0.00 $\pm$ 0.00	0.17 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.05	0.70 $\pm$ 0.29	0.06 $\pm$ 0.21	0.73 $\pm$ 0.30	0.49 $\pm$ 0.33
5	0.15 $\pm$ 0.07	0.00 $\pm$ 0.00	0.13 $\pm$ 0.06	0.10 $\pm$ 0.06	0.69 $\pm$ 0.29	0.00 $\pm$ 0.00	0.67 $\pm$ 0.30	0.50 $\pm$ 0.34
6	0.10 $\pm$ 0.05	0.00 $\pm$ 0.00	0.11 $\pm$ 0.05	0.06 $\pm$ 0.04	0.63 $\pm$ 0.29	0.00 $\pm$ 0.00	0.68 $\pm$ 0.29	0.47 $\pm$ 0.32
8	0.09 $\pm$ 0.05	0.02 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.07	0.00 $\pm$ 0.00	0.59 $\pm$ 0.29	0.18 $\pm$ 0.30	0.75 $\pm$ 0.29	0.03 $\pm$ 0.25
10	0.20 $\pm$ 0.07	0.00 $\pm$ 0.00	0.18 $\pm$ 0.08	0.00 $\pm$ 0.00	0.78 $\pm$ 0.29	0.00 $\pm$ 0.00	0.74 $\pm$ 0.28	0.00 $\pm$ 0.00
12	0.22 $\pm$ 0.08	0.00 $\pm$ 0.00	0.24 $\pm$ 0.09	0.00 $\pm$ 0.00	0.78 $\pm$ 0.30	0.00 $\pm$ 0.00	0.78 $\pm$ 0.28	0.01 $\pm$ 0.28

### Correlaciones Genéticas Edad-Edad

El comportamiento de las correlaciones genéticas edad-edad cambió de un AC a otro. La pendiente de la línea de regresión fue mayor en el ambiente de menor competencia (I) que en el de mayor competencia (III), lo cual indica que las correlaciones edad-edad disminuyen más rápidamente conforme aumenta el cociente de las edades comparadas en el ambiente de menor competencia. La diferencia fue más evidente cuando los árboles entraron en competencia después de los seis meses de edad (Cuadro N° 2). Además, en el ambiente de mayor competencia intergenotípica también se encontró un mayor coeficiente de determinación entre las dos variables (Cuadro N° 2). La competencia intragenotípica (ambiente IV) ocasionó una mayor reducción en las correlaciones edad-edad conforme aumentó el cociente de las edades involucradas, reflejándose en una mayor pendiente de la línea de regresión en

comparación con el ambiente III.

De manera inesperada, en el ambiente de mayor competencia el comportamiento de las correlaciones edad-edad fue similar en las dos etapas (Cuadro N° 2) a pesar del aumento de la competencia después de los seis meses. En cambio, en el ambiente de menor competencia se observó una caída en las correlaciones genéticas en la segunda etapa (Cuadro N° 2). Sin embargo, la interpretación de la tendencia en las correlaciones edad-edad en la segunda etapa debe hacerse con cautela por el reducido número de datos. Aunque no existen antecedentes de estudios similares efectuados en AC elevada, hay estudios en especies forestales en los que no se ha encontrado una buena relación  $rg(a_1, a_2)$ -LCE cuando se incluyen edades muy tempranas en el análisis (Jansson *et al.*, 2003).

**Cuadro N° 2**

**REGRESIÓN ENTRE LAS CORRELACIONES EDAD-EDAD (RG(A1 , A2)) Y EL LOGARITMO NATURAL DEL COCIENTE DE LAS DOS EDADES (LCE) PARA EL CRECIMIENTO EN ALTURA DE CLONES DE *Eucalyptus urophylla* DURANTE DOS ETAPAS DE SEIS MESES DE EVALUACIÓN**

Ambiente	Primera etapa			Segunda etapa		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$r^2$	$\beta_0$	$\beta_1$	$r^2$
I	1.179	0.595	0.035	1.255	1.796	0.54
III	1.019	0.350	0.89	1.021	0.159	0.89
IV	0.955	0.588	0.72	-----		

### Efecto del Ambiente de Competencia Sobre el Desempeño de los Clones

Durante los primeros seis meses de edad, los genotipos mostraron un comportamiento estable en el crecimiento en altura entre los diferentes AC ( $r_B$  entre 0,56 y 1,00). Sin embargo, a partir de esa edad hay una reducción gradual de la estabilidad en el desempeño de los clones entre niveles y tipos de competencia ( $r_B$  entre 0,50 y 0,00). Al parecer, la reducción en la estabilidad del desempeño de los clones con la edad se debe a que algunos clones fueron particularmente sensibles al aumentar la competencia después de los seis meses en el ambiente III.

De lo anterior se desprende que el nivel y el tipo de competencia bajo el cual crecen los individuos es determinante tanto en el comportamiento de los parámetros genéticos como en la estabilidad de los genotipos, especialmente cuando se evalúa material clonal. En un estudio similar con familias de dos años de *Pseudotsuga menziesii* de polinización abierta, St. Clair y Adams (1991) encontraron que los AC tuvieron un gran efecto sobre la estructura de las varianzas, los parámetros genéticos y la jerarquía de las familias. En un ensayo con híbridos de *Eucalyptus*, Bouvet *et al.* (2003), encontraron que el nivel de competencia tiene un mayor efecto sobre los parámetros genéticos al utilizar clones que al utilizar familias, con una interacción clon - ambiente altamente significativa y cambios en el desempeño de los clones. Esto implica que las ganancias genéticas esperadas en un programa de mejoramiento pueden verse afectadas si se realizan plantaciones operativas en condiciones diferentes (nivel o tipo de competencia) a las que fueron utilizadas en la evaluación de los genotipos seleccionados.

## CONCLUSIONES

El AC influyó sobre las heredabilidades principalmente después de los cuatro meses de edad.

El uso de un menor espaciamiento para acelerar la competencia entre los genotipos no modificó de manera negativa las correlaciones entre características a una misma edad.

La tendencia de las correlaciones genéticas edad-edad cambió de un AC a otro.

Las correlaciones edad-edad se reducen más rápidamente en los ambientes I y IV al aumentar la diferencia de edades.

Los resultados obtenidos sugieren que al diseñar un programa de mejoramiento genético y selección de clones de esta especie es necesario considerar las condiciones de intensidad y tipo de competencia a que serán sometidos en las plantaciones operativas, para simular estas condiciones en los ensayos de evaluación.

Los resultados muestran que es posible aumentar la intensidad de competencia en los ensayos de evaluación para acelerar el proceso de selección, pero es importante considerar la edad máxima a la que pueden llegar estos ensayos, así como el tipo de parcela que se debe utilizar.

## REFERENCIAS

- Adams, W. T., 1980.** Intergenotypic Competition in Forest Trees. In: B. P. Dancik and K.O. Higginbotham (eds.). 1980. Proceedings of the Sixth North American Forest Biology Workshop, August 11-13, 1980, University of Alberta, Edmonton, Alberta. pp: 1-14.
- Adams, W. T.; J. H. Roberds and B. J. Zobel, 1973.** Intergenotypic Interactions Among Families of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). *Theor. Appl. Genet.* 43:319-322.
- Amateis, R. L.; M. Sharma and H. E. Burkhart, 2003.** Scaling Growth Relationships from Seedling Plots Using Similarity Analysis. *For. Sci.* 49(2):188-195.
- Balocchi, C. E. ; F. E. Bridgwater ; B. J. Zobel and S. Jahromi, 1993.** Age Trends in Genetic Parameters for Height in a Nonselected Population of Loblolly Pine. *For. Sci.* 39(2): 231-251.
- Bouvet, J. M. y P. Vigneron, 1995.** Age Trends in Variances and Heritabilities in Eucalyptus Factorial Mating Designs. *Silvae Genet.* 44(4):206-216.
- Bouvet, J. M. ; P. Vigneron ; R. Gouma and A. Saya, 2003.** Trends in Variances and Heritabilities with Age for Growth Traits in Eucalyptus Spacing Experiments. *Silvae Genet.* 52(3-4):121-133.
- Brouard, J. S and S. E. T. John, 2000.** Tree Spacing Affects Clonal Ranking in Eucalyptus grandis x E. urophylla Hybrids. *J. Sust. For.* 10(1-2):13-23.
- Dieters, M. J.; T. L. White; R. C. Littell and G. R. Hodge, 1995.** Application of Approximate Variances of Components and their Ratios in Genetic Tests. *Theor. Appl. Genet.* 91:15-24.

**Donald, C. M., 1968.** The Breeding of Crop Ideotypes. *Euphytica* 17: 385-403.

**Falconer, D. S. and T. F. C. Mackay, 2001.** Introducción a la Genética Cuantitativa. Editorial Acribia. Trad. A. Caballero R., C. López-Fanjul A., M. A. Toro I. y A. Blasco M. Zaragoza, España. 469 p.

**Jansson, G.; B. Li and B. Hannrup, 2003.** Time Trends in Genetic Parameters for Height and Optimal Age for Parental Selection in Scots Pine. *For. Sci.* 49(5):696-705.

**Jonsson, A. ; G. Eriksson; Z. Ye and C. Yeh, 2000.** A Retrospective Early Test of *Pinus sylvestris* Seedlings Grown at Wide and Dense Spacing. *Can. J. For. Res.* 30:1443-1452.

**Lambeth, C. C., 1980.** Juvenile-mature Correlations in Pinaceae and Implications for Early Selection. *For. Sci.* 26(4):571-580.

**Sánchez-Vargas, N. M. ; J. J. Vargas-Hernández; L. M. Ruiz-Posadas y J. López-Upton, 2004.** Repetibilidad de Parámetros Genéticos en un Ensayo Clonal de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia* 38:465-475.

**Rice, J. A, 1988.** Mathematical Statistics and Data Analysis. Wadsworth and Brooks/Cole Statistics/Probability Series. Pennsylvania, USA. 595 p.

**St. Clair, J. B. and W. T. Adams, 1991.** Relative Family Performance and Variance Structure of Popen-pollinated Douglas-fir Seedlings Grown in Three Competitive Environments. *Theor. Appl. Genet.* 37(4):987-997.



---

## VALORIZACION DE LOS BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO PARA LOS TIPOS FORESTALES ROBLE - RAULI - COIGUE Y COIGUE - RAULI

– TEPA. Hans Grosse W, Oscar Larrain L y Rodrigo Mujica H. Ingenieros forestales, investigadores, Instituto Forestal, Chile. hgrosse@infor.cl olarrain@infor.cl rmujica@infor.cl

---

### RESÚMEN

Los bosques nativos chilenos originales en el sur del país incluían alta presencia de especies tolerantes a la sombra junto a las especies de baja tolerancia del género *Nothofagus* tales como roble (*Nothofagus obliqua*), rauli (*Nothofagus alpina*) y Coigue (*Nothofagus dombeyi*). Las intervenciones antrópicas en estos bosques originaron vastos terrenos desprovistos de vegetación, los cuales en muchos casos fueron colonizados por las especies de *Nothofagus* mencionadas, formando numerosos bosques de segundo crecimiento, los denominados renovales.

Los actualmente reconocidos tipos forestales Roble-Rauli-Coigue (RO-RA-CO) y Coigue-Rauli-Tepa (*Laurelia philippiana*) (CO-RA-TE), representan los bosques de segundo crecimiento más importantes del país.

Debido a que las últimas fuertes intervención antrópicas ocurrieron hace 50 años o más, los actuales renovales tienen en su mayoría esa edad. A pesar que las especies de género *Nothofagus* que conforman estos renovales presentan su mayor potencial de crecimiento a edades tempranas (hasta los 15 años), el manejo aplicado a estos renovales de edades avanzadas ha consistido exclusivamente en cortas intermedias. Por lo tanto, las respuestas a estas intervenciones han sido menores a las esperadas.

Esta situación lleva a replantearse los esquemas de manejo para los actuales renovales, enfocando las intervenciones a generar bosques nuevos por métodos de monte alto y enriquecimientos realizados con las mismas especies, pero con material seleccionado.

Este cambio de esquema implica cosechar, aplicando cortas de protección, que garanticen el éxito de desarrollo de la generación futura. Para esto se ofrecen aplicaciones en hoyos de luz, fajas y variantes de estos. La madera a extraer representa en un alto porcentaje (60 – 80 %) volúmenes de baja calidad maderera, pero de alta potencialidad para fines energéticos.

Los esquemas de manejo propuestos invertirán la proporción entre madera de baja y alta calidad, para lo cual es indispensable la aplicación de una silvicultura temprana e intensiva, obteniéndose así un alto porcentaje de madera para fines nobles como son chapa y madera aserrada.

**Palabras claves:** Valorización, renovales, *Nothofagus*, silvicultura

## INCREASING THE VALUE FOR ROBLE - RAULI - COIGUE AND COIGUE - RAULI - TEPA SECOND GROWTH STANDS

---

### SUMMARY

The southern native Chilean forests used to have a strong abundance of shade tolerant species in their floristic composition as well as low tolerant species, typically *Nothofagus species* like Roble (*Nothofagus obliqua*), Rauli (*Nothofagus alpina*) and Coigue (*Nothofagus dombeyi*). Historically human intervention in these forests has originated large land areas without vegetation. In these conditions the mentioned *Nothofagus species* colonized these areas forming numerous secondary growth forests, those denominated "renovales".

The currently known Roble-Rauli-Coigue (RO-RA-CO) and Coigue-Rauli-Tepa (*Laurelia philippiana*) (CO-RA-TE) forestry types, represents the most important secondary growth forest of the country.

Given that the last strong human intervention happened 50 years ago or more, the current renovales have in their majority that age. Despite the *Nothofagus species* that conform these renovales present their best productive potential at early ages (up to the 15 years), the silviculture applied to these renovales of advanced ages has consisted exclusively in thinning. Therefore, the response to these interventions have been poorest than expected.

This situation takes to reconsider the management for the current renovales, directing the interventions to generate new forests by means of natural regeneration and planting high quality material of the same trees of original forest.

This change of schema applies in terms of harvesting, considering methods that guarantee shelter for the next generation. Methods able to be used are openings in spots, belts and variation of these. The wood to be harvested represent up to 60 – 80 % low quality timber, but with high potential to be used as energy biomass.

These proposed management schemas will reverse the proportion of low and high quality wood coming from renovales, but it will be essential the application of an early and intensive forestry silviculture. The expected result will be high quality timber for noble use like veneer and sawn timber.

**Key words:** Value increase, second growth stands, *Nothofagus*, silviculture.

## INTRODUCCIÓN

Los tipos forestales Roble - Rauli - Coigue (RO - RA - CO) y Coigue - Rauli - Tapa (CO - RA - TE), representan las masas forestales de segundo crecimiento más importantes del país. Ocupan el 37 % de los bosques de *Nothofagus*, con 1,5 millones de hectáreas para el tipo RO-RA-CO y 0,56 millones de hectáreas para el tipo CO-RA-TE (CONAF, CONAMA - BIRF, 1999).

El tipo forestal RO-RA-CO presenta una distribución geográfica que abarca desde el paralelo 36° 30' hasta el paralelo 40° 30' S, entre 100 y 1000 msnm y el tipo forestal CO-RA-TE desde el paralelo 37° hasta el paralelo 40° 39' S, entre 600 y 1000 msnm (Donoso, 1981; Donoso, 1993). Altitudinalmente, la colonización está dada por roble puro en las áreas bajas, mezcla o situaciones puras de roble y rauli en las áreas intermedias y rauli y/o coigue en las áreas más altas (Donoso, 1981; Donoso, 1993).

Las asociaciones naturales originales incluían alta presencia de especies tolerantes a la sombra como laurel (*Laureliopsis sempervirens*), tepa, olivillo (*Aextoxicon punctatum*), lingue (*Persea lingue*), trevo (*Dasyphyllum diacanthoides*), junto a las especies del género *Nothofagus* de baja tolerancia a la sombra como son roble, rauli y coigue. Después de fuertes alteraciones producidas por el ser humano, a través de grandes incendios con el propósito de obtener tierras para fines agropecuarios, muchos de estos sitios fueron colonizados por las especies de *Nothofagus* mencionadas, manteniéndose su dominancia hasta el día de hoy (Veblen y Ashton, 1978; Donoso, 1993).

La situación actual de la mayoría de estos bosques de crecimiento secundario, denominados renovales, corresponde a rodales que se generaron por monte bajo y alto hace 50 años o más. Como los renovales son las masas boscosas nativas que presentarían el mayor potencial de crecimiento, el manejo de estos bosques se ha caracterizado por la exclusiva realización de cortas intermedias. En el presente documento se analiza la pertinencia de este tipo de manejo para los renovales, considerando para ello como principal antecedente la edad de la mayoría de estos bosques.

## EXPERIENCIAS DE MANEJO DE RENOVALES

El propósito de intervenir el bosque a través de raleos, consiste en concentrar el crecimiento en los mejores árboles, potenciándolos en términos de volumen y valor. Existen muchos antecedentes en la literatura sobre este tipo de intervenciones para los tipos forestales en cuestión.

Para rodales de 30 a 35 años de edad en la Reserva Vega Blanca, en la Cordillera de Nahuelbuta, con un DAP promedio de 13-14 cm y una altura de los árboles dominantes de 14 m, la extracción de un 32 - 43 % del área basal inicial (de 35 m<sup>2</sup>/ha), permitió crecimientos de 0,4 cm por año (Rocuant, 1969).

Para rodales de 37 a 42 años de edad en la Hacienda Jauja, en la Cordillera de Los Andes de Malleco, con un DAP promedio de 18 - 19 cm y una altura promedio del rodal de

unos 23 m, la extracción de un 36 % del área basal, llevó a un crecimiento diametral de 0,3 cm por año y volumétrico de casi 10 m<sup>3</sup>/ha en el mismo período (Puente *et al.*, 1979).

Para rodales de 30 a 50 años de edad en la Hacienda el Morro, al sureste de Mulchén en la VIII Región, De la Maza y Gilchrist (1983) indican crecimientos diametrales dependientes de la calidad del sitio entre 0,5 a 0,8 cm por año y para el volumen de aproximadamente 13 m<sup>3</sup>/ha para el mismo período. El mejor rendimiento en el crecimiento para esta situación, comparada con las entregadas por Rocuant (1969) y Puente *et al.* (1979), seguramente se debe a la diferencia en la calidad del sitio. Sitios de menor calidad se encuentran para la Región VIII sobre los 650 msnm y en exposición norte, mientras las mejores bajo esta altura y en exposición sur (Burgos, 1984).

Crecimientos parecidos a los obtenidos en las mediciones en Vega Blanca, Jauja y El Morro, fueron registrados en los ensayos del Instituto Forestal para la misma hacienda Jauja, además de Llancacura en la Cordillera de la Costa de la X Región, Melipeuco en la Precordillera de la IX Región y Maquehua en la Cordillera de la Costa de la VIII Región (Grosse, 1987, Grosse *et al.*, 1996).

Para rodales en Llancacura, durante el período de crecimiento entre los 44 y 51 años de edad, partiendo con un DAP promedio de 16 a 17 cm y 52 m<sup>2</sup>/ha de área basal, se obtuvo un crecimiento diametral anual de 0,3 cm, al extraer aproximadamente un 50 % del área basal. A la misma intensidad de intervención en el período entre las edades de 57 y 66 años, comenzando con 19 cm de DAP y 42 m<sup>2</sup>/ha de área basal en Maquehua, se obtuvo un crecimiento diametral de 0,4 cm y en volumen de 4,4 m<sup>3</sup>/ha/año.

En Melipeuco, durante el período de crecimiento entre los 44 y 53 años de edad, partiendo con un DAP promedio de 16,5 cm y un área basal de 49,5 m<sup>2</sup>/ha, se obtuvo un crecimiento anual diametral de 0,5 cm y en volumen de 10 m<sup>3</sup>/ha/año.

En Jauja, durante el período de crecimiento entre los 47 y 63 años de edad, partiendo con un DAP promedio entre 12 y 15 cm y un área basal de 44-50 m<sup>2</sup>/ha, se obtuvo un crecimiento diametral anual entre 0,3 y 0,4 cm, sin distinguirse claramente el efecto de los raleos, que probablemente se concentraron en los estratos dominados (raleo por lo bajo).

En la hacienda Jauja se ha realizado diversas experiencias silvícolas entre los años 1970 y 2006. De especial interés resultan aquellas que incorporan estrictos criterios de selección por calidad, siguiendo el método del árbol futuro. Para un período de cinco años entre los 65 y 70 años de edad, el rodal intervenido creció en volumen 5,6 m<sup>3</sup>/ha/año en su totalidad (los árboles futuro crecieron 4,0 m<sup>3</sup>/ha/año) y en diámetro 0,6 cm. Aquí se concentró el crecimiento en los árboles de mejor calidad del estrato superior (Quiroz, 1998; Avilés, 1993).

Todos los resultados entregados corresponden a crecimientos obtenidos en raleos tardíos. El reconocimiento sobre la baja capacidad de reacción frente a estas intervenciones, cuando rauli, roble y coigue se encuentran en edades avanzadas (sobre los 30 a 40 años), se ha entregado en reiteradas oportunidades, indicando que frente a intervenciones tempranas

estas especies presentan crecimientos sobresalientes (Grosse y Quiroz, 1998, Quiroz, 1998; Grosse, Pincheira y Quiroz, 1998; Grosse, 2004).

Resultados sobre la capacidad de reacción temprana para raulí se encuentran en plantaciones establecidas en Gran Bretaña, donde en buenos sitios, la culminación del crecimiento volumétrico medio se alcanza con 18 m<sup>3</sup>/ha/año y que el crecimiento anual corriente culmina a los 12 años o antes (Grosse y Quiroz, 1998, Tuley, 1980; Christie et al. 1974).

Modelos de crecimiento para raulí, roble y coigue, construidos sobre una base de muestras alta y representando diversos sitios de la distribución de estas tres especies, considerando la edad, la dimensión, el espaciamiento y la posición social del árbol evaluado, también indican claramente como a mayor edad disminuye significativamente la capacidad de crecimiento de estas tres especies (Grosse y Cubillos, 1991).

Esta tendencia en el crecimiento es confirmada por Mujica (1997), al analizar el desarrollo de una plantación de 14 años de edad de raulí cercana a la ribera sur del Lago Riñihue, en un área considerada como buena para el desarrollo de esta especie. Aquí el crecimiento anual corriente para el área basal y el volumen culmina a los ocho y once años respectivamente con 3,5 m<sup>2</sup> y 28,6 m<sup>3</sup> por hectárea, mientras que la altura lo hace a los nueve con 1,1 m.

Rendimientos similares demuestran ensayos de procedencia de raulí instalados por el Instituto Forestal en la Precoyuntura de Los Andes de Mulchén y en la Costa de Arauco en la Estación Experimental Antiquina (Grosse y Quiroz, 1998).

A pesar de estos resultados, la insistencia de los silvicultores nacionales en raleo bosques secundarios de *Nothofagus* de avanzada edad se ha mantenido en el tiempo. Como el propósito del manejo forestal es, desde el punto de vista maderero, maximizar el desarrollo del crecimiento, calidad y valor del bosque, se deben investigar y evaluar otras opciones silvícolas para lograr el mencionado propósito.

Cabe mencionar que el raleo de renovales a edades avanzadas solo se justificaría si el pequeño incremento diamétrico fuese equivalente a un considerable incremento del valor maderero, o sea, si el incremento en volumen fuese madera de alta calidad. Este análisis, que debe incluir variables relacionadas con la calidad de la madera, costos de producción y precios de comercialización, aún no se ha realizado.

## PROPUESTAS DE MANEJO DE RENOVALES MADUROS

Al no poder acelerar sustantivamente el crecimiento de un renoval a través de las cortas intermedias y no aprovechar el potencial productivo de estos bosques, se plantea entonces como alternativa de manejo el rejuvenecimiento de éstos, a través de la aplicación de métodos de cosecha y regeneración.

Fundamental para planificar el manejo resulta conocer la dinámica propia de las especies del género *Nothofagus* y sus acompañantes. Coigue califica como intolerante (Donoso, 1993),

mientras que rauli y roble son semitolerantes. En gran medida las especies arbóreas acompañantes fuera de este género son tolerantes. En términos prácticos, esto significa que coigue es un colonizador nato, siempre y cuando disponga de suficiente pluviosidad durante el año, lo que ocurre básicamente en la X Región y parcialmente en la IX Región. Rauli y roble se desarrollan mejor con un cierto nivel de protección lateral, lo que se hace más necesario, a medida que se avanza hacia el norte de la distribución de las especies. A esto se agregan las condiciones edafoclimáticas de cada sector a intervenir y la exposición.

En general, los bosques de crecimiento secundario de los tipos forestales en análisis se encuentran en estado de fustal. Este se define cuando los diámetros de los árboles son mayores a 20 cm y menores a 70 cm y sus alturas superan los 20 m. Especificando los rangos de DAP, estos se clasifican en fustal delgado (20-35 cm de DAP), fustal medio (35-55 cm de DAP) y fustal grueso (55-70 cm de DAP).

En general para esta estructura existen variadas alternativas de manejo, que van desde las cortas intermedias hasta cortas finales o de regeneración. A continuación se presentan las técnicas de manejo aplicables a cada una de las sub-estructuras que es posible encontrar dentro de la estructura Fustal (Cuadro N° 1).

**Cuadro N° 1**  
**ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA LA ESTRUCTURA DE FUSTAL**

MANEJO/ESTRUCTURA	FUSTAL DELGADO (20-35cm DAP)	FUSTAL MEDIO (35-55cm DAP)	FUSTAL GRUESO (55-70cm DAP)
Corta de Liberación	X	X	X
Corta Sanitaria	X	X	X
Corta de Recuperación	X	X	X
Corta de Mejoramiento	X	X	X
Raleo	X		
Enriquecimiento en claros naturales y artificiales	X	X	X
Cosecha (Tala Rasa, Árbol Semillero, Protección, Selección)		X	X

Como gran parte de los rodales corresponden a fustal delgado, la tentación de aplicar exclusivamente cortas intermedias es grande. Esto sin considerar su edad avanzada para la mayoría de los casos. Aquí es fundamental tener presente que los pequeños diámetros se deben principalmente a la carencia de raleos previos y una baja mortalidad de los árboles, distribuyéndose el crecimiento en la totalidad de los individuos. Por lo tanto, resulta menos comprensible la aplicación de cortas intermedias en situaciones de fustal medio y grueso, que en promedio tienen edades aún más avanzadas.

Considerando la baja capacidad de reacción de los *Nothofagus* al ser raleados a avanzada edad, la opción de manejo es entonces la cosecha y regeneración. Por las características de las especies, sólo deben considerarse los métodos de protección, de selección y excepcionalmente el del árbol semillero. La tala rasa no es compatible para rauli y roble y sólo podría aplicarse en lugares de topografía plana, que son casi inexistentes para coigue en sectores de alta pluviosidad.

## Método de Protección

La corta de protección consiste en la cosecha gradual de los árboles de un rodal durante el periodo final de la rotación. Estas cortas se asemejan a los raleos. La siguiente generación se desarrolla bajo la cobertura o protección de los individuos que van quedando remanentes y será liberada cuando sea capaz de soportar la exposición completa al sol. La principal característica de este método es el establecimiento de una nueva población antes de que se termine la rotación de la generación arbórea anterior (Hawley y Smith 1982; Burschel y Huss, 1983).

La aplicación del método puede comprender tres clases diferentes de cortas, aplicadas de la siguiente forma:

**Corta Preparatoria:** Favorece el desarrollo de buenos productores de semillas y ayuda en acelerar la descomposición de hojarasca.

**Corta de Siembra:** Abre el bosque de tal modo que sea posible el establecimiento de la regeneración.

**Corta de extracción:** Cosecha de la cobertura protectora dejando a la nueva población como estructura principal, quedando a disposición para esta la luminosidad y oferta de nutrientes completa.

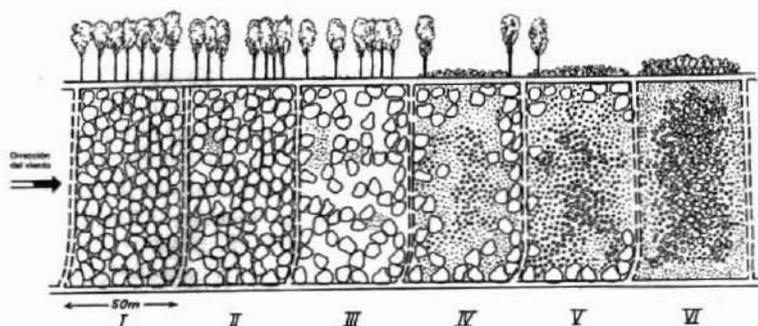
La corta de protección y sus variantes puede ser utilizada para reproducir casi todas las especies, salvo aquellas demasiado intolerantes o sensibles a la competencia radicular. Por lo tanto es adaptable a un gran número de especies, así como a la silvicultura intensiva y extensiva. Es el único método por el cual un monte alto uniforme puede ser reproducido bajo la protección de los árboles padres (Hawley y Smith, 1982).

La corta de protección se aplica como método uniforme o en fajas u hoyos de luz.

## Método Uniforme

El método uniforme corresponde a la aplicación clásica de la corta de protección descrita anteriormente, aplicándose la extracción de los árboles homogéneamente en el área a intervenir (Figura N° 1).





(Modificado de Burschel y Huss, 1983)

- I. Rodal cerrado (200 árboles por ha; H: 30-35 m).
- II. Corta de preparación: extracción de 15 % del volumen.
- III. Corta semillero: en un año de semillación se extrae un 30-40 % del volumen.
- IV. Corta de apertura: se extrae gran parte de los árboles hacia las huellas de madereo. Aun se mantienen algunos remanentes.
- V. Se cosechan casi todos los árboles restantes. Quedan algunos remanentes a orilla de camino para la semillación faltante y protección.
- VI. La regeneración reemplazó al rodal cosechado.

**Figura N° 1**  
**DESARROLLO DE UNA CORTA UNIFORME REGULAR, PARA EL CASO DE *Fagus sylvatica***  
**PARA UN PERÍODO DE 10 A 30 AÑOS**

### Cortas en Fajas y Hoyos de Luz

Las cortas en fajas y hoyos de luz representan variantes que significan opciones de aplicabilidad interesantes en los bosques nativos chilenos y se explican en detalle a continuación.

Variantes exploratorias sobre cortas en fajas y hoyos de luz han sido aplicadas en distintas situaciones de bosques con especies del género *Nothofagus* en Chile (Quiroz, 1998; Grosse et al., 1996). Estas intervenciones corresponden a aperturas del rodal en pequeñas superficies (800 a 1.500 m<sup>2</sup>), que permiten que los árboles remanentes brinden protección lateral a la nueva generación, por lo cual no se les considera tala rasa (Burschel y Huss, 1983). Para que este propósito se cumpla, el ancho de la intervención dependerá de la situación de cada sitio en particular, siendo recomendable que este fluctúe entre 0,5 a 1,5 veces la altura de los árboles circundantes.

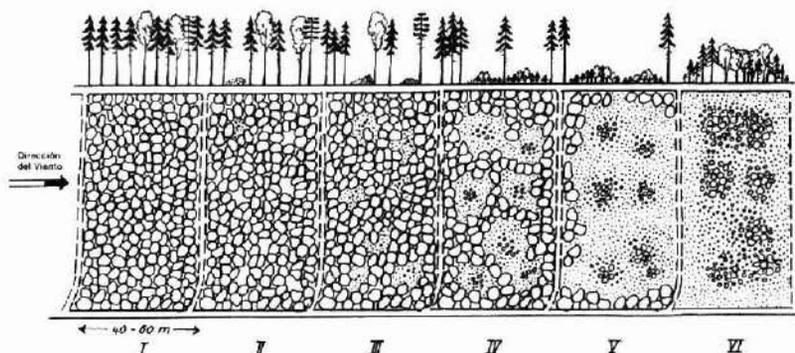
La cosecha en fajas consiste en cortar fajas sucesivas o alternadas en intervalos de tiempo, avanzando de un extremo a otro de un rodal, adecuando las cortas a la edad de rotación del bosque. En el lapso de pocos años, una vez establecida la regeneración, se extrae con extracciones paulatinas la madera en las fajas aun no cosechadas.

La cosecha en hoyos de luz o huecos consiste en extraer todos los individuos de un grupo de manera de formar espacios al interior del rodal. La distribución de estos puede ser

sistemática y, en caso que la estructura del rodal no lo permita, debe irse adecuando a ésta, para favorecer la regeneración existente y futura.

Intervenciones siguientes al rodal remanente consistirán en aperturas paulatinas, hasta que la regeneración este asegurada a nivel del rodal completo. Una parte importante de los bosques de segundo crecimiento de los tipos forestales RO-RA-CO y CO-RA-TE presentan un cierto grado de inestabilidad frente al viento, dado que nunca fueron raleados o si esto ocurrió fue muy tarde. Por lo tanto este método puede ser una alternativa para cosecharlos (Figura N° 2).

La cosecha en hoyos de luz se parece a la selección en grupos desde el punto de vista de las aperturas generadas inicialmente. Para igualar la estructura multietánea de esta, se deben proyectar las intervenciones en un período cercano al de la rotación.



(Modificado de Burschel y Huss, 1983)

- I. Rodal cerrado (se instalan las huellas de maderero).
- II. Extracción de 5-10% del volumen en pequeños hoyos de luz. Se incentiva la regeneración de especies tolerantes.
- III. Extracción de 10-15 % del volumen. Se agrandan los hoyos de luz, siguiendo el desarrollo de la regeneración.
- IV. Extracción de 20-25 % del volumen. Se dan las condiciones de luminosidad para el desarrollo de especies semitolerantes e intolerantes. La regeneración natural debe complementarse a través de la regeneración artificial, si es necesario.
- V. La regeneración se encuentra en toda la superficie. Árboles remanentes de la generación anterior sólo se encuentran a orilla de las huellas de maderero. Se eliminaron los árboles remanentes. Aún se observa desigualdad en las alturas en la regeneración, que tenderá a igualarse con el tiempo.

Figura N° 2

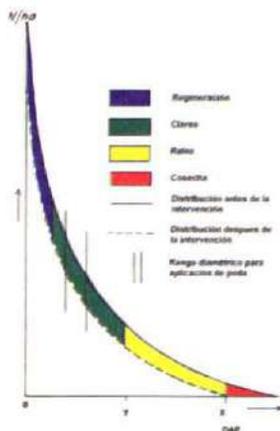
**CORTA BAJO EL ESQUEMA HOYOS DE LUZ PARA EL CASO DE UN RODAL MIXTO DE CONÍFERAS Y LATIFOLIADAS EL MADEREO SE REALIZA POR CABLE HACIA LAS HUELLAS DE MADEREO**

De acuerdo al DS N° 259 de 1980 del Ministerio de Agricultura, el método de corta de protección es aplicable a los tipos forestales Roble-Hualo, Roble-Rauli-Coihue, Lengua, Siempreverde y Coihue-Rauli-Tepa, entre otros.

## Método de Selección

En bosques multietáneos se encuentran presentes todas las clases de edad y todos los rangos diamétricos a nivel de rodal, distribuidos espacialmente de manera estratificada y vecina. Esto significa que la silvicultura a aplicar implica acciones simultáneas para la regeneración, cortas intermedias y cosecha (Burschel y Huss, 1983). La operación de las cortas de selección en este tipo de bosques sirven para inducir estructuras multietáneas y para mantenerlas en el tiempo.

En el método de corta de selección, se cortan los árboles del rodal que han llegado a un diámetro objetivo para su uso comercial. Esto sucede en una serie de intervalos durante el período de la rotación. Generalmente la corta de estos árboles coincide con los más viejos de una masa boscosa. Después de cada corta, se generan pequeños claros donde se establece la regeneración, que en el transcurso del tiempo se va distribuyendo en todo el rodal. En teoría, de un rodal podría aprovecharse cada año una clase de edad que llegó por madurez a su momento de cosecha. Esta estaría formada por árboles aislados, dispersos y maduros. El volumen de esta clase de edad será equivalente al crecimiento anual de la masa (Hawley y Smith, 1982). La distribución típica de diámetros de una masa multietánea se presenta en la Figura N° 3.



(Modificado de Burschel y Huss, 1983)

- El sector de color verde (diámetros inferiores a Y) representa los diámetros en la fase de regeneración y latizal, donde se aplican cortas de limpieza y se comienza con las cortas intermedias respectivamente.
- El sector de color rojo en la curva de diámetros, indica el número de árboles de las clases de diámetro a extraer teóricamente en una sola corta. Todos los árboles con un diámetro superior a X, valor establecido como diámetro objetivo, son cosechados.
- Los árboles de diámetro mayores a Y pero menor a X, (diámetro mínimo comercial o utilizable), pueden también ser extraídos mediante raleos comerciales.
- Bajo un esquema extensivo de manejo, los diámetros inferiores a X no se cortarían y se morirían por el cierre de copas y competencia (autoraleo).

Figura N° 3

**SILVICULTURA EN UN BOSQUE MULTIETÁNEO. CARACTERIZADO POR EL NÚMERO DE ÁRBOLES POR CLASE DIÁMÉTRICA Y SUS RESPECTIVAS INTERVENCIONES**

Teóricamente, se debe extraer la clase de edad mayor al cumplir su ciclo productivo. En la práctica se fija un diámetro límite que establecerá el momento en el cual el árbol se debe cortar. El crecimiento medio del bosque corresponde al que debería extraerse en cada turno, sumándosele los volúmenes que se obtendrían de los raleos en las restantes clases diamétricas.

La corta selectiva es aplicable a todos los tipos forestales nacionales susceptibles de ser cosechados comercialmente (Palma, Coihue-Rauli-Tepa, Ciprés de las Guaitecas, Coihue de Magallanes, Siempreverde, Esclerófilo, Roble-Hualo, Ciprés de la Cordillera, Lengua y Roble-Rauli-Coihue).

Se debe tener especial cuidado al trabajar con especies del género *Nothofagus* tales como roble, rauli o coigue, por su baja tolerancia a la sombra, que puede incidir negativamente al momento de establecerse su regeneración. En este mismo sentido, coigue es la especie que presenta los mayores requerimientos de luz para poder regenerar, seguida por roble y rauli, que presenta una tolerancia media o semitolerante (Donoso, 1993).

Si el objetivo es lograr la regeneración de coigue, se debe formar un claro suficientemente grande para que permita regenerar de acuerdo a sus características autoecológicas. Claros superiores a 500 m<sup>2</sup> son sugeridos por Veblen (1991) y Donoso (1993) para este fin, incidiendo también la latitud y exposición en el tamaño. Para roble y rauli el tamaño mínimo del claro disminuye debido a su mayor tolerancia. Se debe tener en cuenta que rauli necesita de cierta cobertura de protección, ya que suele presentar problemas de daños por insolación o exceso de luz. Sin embargo en bosques demasiado cerrados se ve imposibilitado de regenerar.

Se debe tener especial cuidado en la regeneración de especies invasoras indeseables, como lo son *Chusquea spp.*, maqui, zarzamora y gramíneas, que limitan fuertemente la posibilidad de regeneración y establecimiento de una nueva planta o grupo de plantas.

Para asegurar la presencia de todas las especies deseadas en cada clase diamétrica se puede complementar la regeneración natural con regeneración artificial utilizando plantas de vivero, considerando enriquecer el rodal futuro en relación al precedente, en términos de la composición de especies y su calidad. Debido a que los bosques multietáneos son bosques con regeneración permanente, es fundamental aislarlos con el propósito de evitar la entrada de ganado y el consiguiente ramoneo de las plantas nuevas.

### Método del Árbol Semillero

En la aplicación del método del árbol semillero el rodal se somete a una corta total, exceptuando algunos ejemplares destinados a proporcionar las semillas necesarias para regenerar el área. Los árboles semilleros representan solamente un pequeño porcentaje del volumen original y corresponde generalmente a menos del 10 %.

Una vez que se ha establecido una nueva población, estos árboles pueden ser eliminados en una segunda corta o dejados indefinidamente (Hawley y Smith, 1982). Para que la proyección de estos árboles sea económicamente atractiva, deben ser de alto valor, extrema-

damente resistentes a daños por viento, no tender a la producción de brotes epicórnicos y no ser susceptibles a daños en la corteza por efectos de los rayos solares. Se recomienda su ubicación cerca de huellas de madereo o caminos, para evitar daños a la siguiente regeneración de árboles si su extracción se produjera antes del término de la rotación de la nueva generación arbórea (Burschel y Huss, 1983).

En el Reglamento Técnico del DL 701 se autoriza la aplicación del método de corta y regeneración por árbol semillero únicamente para los tipos forestales Roble-Hualo, Roble-Rauli-Coihue y Coihue-Rauli-Tepa.

La aplicación de este método genera gran cantidad de biomasa de baja calidad, la cual es difícil de comercializar. Debe tenerse especial cuidado al momento de seleccionar desde el punto de vista cualitativo a los árboles padres, ya que constituyen la fuente de abastecimiento de semillas del futuro bosque. También debe considerarse la estabilidad de los árboles padres en términos de su resistencia al viento. Para esto su relación H/D (altura expresada en m y diámetro en cm) debería estar en el rango entre 0,6-0,8. La condición de aislamiento y la pérdida repentina de su protección lateral aumenta la susceptibilidad de caída para estos árboles (Hawley y Smith 1982). Este método es inaplicable sobre suelos húmedos, delgados o de baja capacidad de sostén o de fuertes pendientes (> 60%). Tampoco se recomienda para especies con raíces superficiales.

### **Recomendaciones Generales para los Métodos de Cosecha y Regeneración**

La cosecha debe estar acompañada por eficiente regeneración, donde para lograr un resultado de regeneración óptimo deberá aplicarse combinaciones de regeneración natural y artificial. Las definiciones de estos dos métodos de obtener regeneración o formar un nuevo bosque son dadas a continuación.

La regeneración natural (monte alto) se produce por semillas que caen desde árboles del rodal y vecinos. Se aplica básicamente en los métodos de corta del árbol semillero, de protección y de selección. En la práctica, cuando se trata de retoñaciones muy repetidas, se debería optar por eliminar el paquete radicular que da origen a estas, para evitar bajas de rendimiento en términos cuantitativos y cualitativos. Cuando se trata de una primera y hasta segunda generación por monte bajo, donde se espera que no ocurra una baja significativa en el desarrollo de los retoños, estos se suman a las plantas generadas por monte alto.

La regeneración artificial consiste básicamente en la plantación de material producido en vivero y ocasionalmente de siembra directa en el bosque. Se aplica obligatoriamente después de talas rasas y complementariamente a la regeneración natural en los métodos de corta del árbol semillero, de protección y de selección.

Cuando el rodal precedente no cumple con la composición y estructura que se pretende para la nueva generación y por lo tanto se arriesga la no obtención de los productos que se desea obtener, la nueva generación de árboles no se puede sustentar exclusivamente por semillación directa de éste. Situaciones como estas se producen cuando por ejemplo por sobrecosecha se ha eliminado especies valiosas (por ejemplo rauli) o sólo han quedado árboles remanentes de muy mala calidad. Para corregir esto, se deben reincorporar las especies y a

través de estas la calidad perdida a través de plantas que representen una óptima proyección de crecimiento y valor. Esta operación es denominada enriquecimiento.

## CONCLUSIONES

La avanzada edad de la mayoría de los bosques secundarios de *Nothofagus*, condiciona la capacidad de reacción en crecimiento de los árboles liberados mediante raleos. Debido a esto se necesita replantearse los esquemas de manejo para este tipo de bosques.

Con el propósito de potenciar la capacidad de crecimiento de los árboles y aprovechar de mejor forma los diversos sitios, se propone renovar el bosque existente. Esto último a través de la aplicación de métodos de cosecha y regeneración. En este contexto se recomienda los siguientes métodos:

La corta de protección con sus variantes, se aplica a cosechas de áreas de tamaños medianos, lo que permite ciclos de intervención prolongados. Esto significa, que este método se adecua muy bien a medianas y grandes propiedades, siendo fundamental la exclusión del ganado hasta la consolidación de la regeneración en los sectores intervenidos.

La corta selectiva es un método que permite concentrar en pequeñas superficies árboles de todas las edades y tamaños, por lo que en forma periódica se puede obtener madera. Esto significa, que este método se adecua muy bien a las pequeñas propiedades, siendo fundamental la exclusión del ganado de estos bosques por estar en permanente regeneración.

El método del árbol semillero, es poco recomendable. Esto, debido a la apertura violenta del rodal, lo que lleva a un alto riesgo de invasión de malezas y a una alta vulnerabilidad al viento para los árboles remanentes.

## REFERENCIAS

- Avilés, B., 1993.** Untersuchungen zur Waldbaulichen Behandlung und Bewirtschaftung von Renovalesbeständen in Mittelchile. Diss. Forstwissenschaftliche Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i Br., 174 págs.
- Burgos, R., 1985.** Determinación de Índices de Sitio para Renovales de Rauli (*Nothofagus alpina* (Poepp. Et Endl.) Oerst) en la Cordillera Andina de la Octava Región. Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de Concepción, 75 pp.
- Burschel, P. y Huss, J., 1983.** Grundriss des Waldbaus. Pareys Studentexte 49. Verlag Paul Parey-Hamburg, Berlin. 352 págs.
- CONAF – CONAMA, 1999.** Catastro y Evaluación del Recurso Vegetacional Nativo de Chile. Catastro y Evaluación del Recurso Vegetacional Nativo de Chile.
- Christie, J. M., Millar, A.C. y Brumm, L. E., 1974.** *Nothofagus* Yield Tables. Forestry Commission, Research and Development. Paper. N0 106. 5 pp.

- De la Maza, C. L. y Gilchrist J., 1983.** Algunos Antecedentes para el Manejo de Renovales de Raulí. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile. Boletín Técnico N° 61. 30 págs.
- Donoso, C., 1981.** Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal. CONAF/PNUD/FAO.FO: DP/CHI/76/003. Documento de trabajo N° 38.
- Donoso, C., 1993.** Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Ecología Forestal. Editorial Universitaria. 483 p.
- Grosse, H., 1987.** Desarrollo Inicial de Plantaciones de Raulí. Ciencia e Investigación Forestal Vol. 1 N° 1: 49 - 56
- Grosse, H. y Cubillos, V., 1991.** Antecedentes Generales para el Manejo de Renovales de Raulí, Roble, Coigue y Tepa. Boletín Técnico N° 127. INFOR-CORFO.
- Grosse, H., Pincheira, M., y Quiroz, I., 1996.** Evaluación de Tratamientos Silviculturales en Renovales de Raulí (*Nothofagus alpina*) y Roble (*Nothofagus obliqua*). Fundación Chile - INFOR. 53 págs.
- Grosse, H. y Quiroz, I., 1998.** Renovales de Raulí y Roble en el Sur de Chile. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia. Chile.
- Grosse, H. y Quiroz, I., 1998.** Silvicultura de los Bosques de Segundo Crecimiento de Roble, Raulí y Coigue en la Región Centro - Sur de Chile. En: Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Editores C. Donoso y A. Lara. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 95-128.
- Grosse, H., 2004.** Silvicultura y Manejo; en Actas del Simposio Internacional IUFRO: Raulí, Riqueza de los Bosques Templados: Silvicultura, Genética e Industria. Valdivia, Chile. UACH-INFOR
- Hawley, R. y Smith, D., 1982.** Silvicultura Práctica. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 544 págs.
- Mujica, R., 1997.** Análisis Económico Privado de un Plantación de *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oerst, Ubicada en la Provincia de Valdivia. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile. Valdivia. 132 págs.
- Puente, M., Donoso, C., Peñaloza, R. y Morales, E., 1979.** Manejo de Renovales de Raulí (*Nothofagus alpina* Poepp. et Endl) en la Cordillera de Nahuelbuta, 8 págs.
- Quiroz, I., 1998.** Untersuchungen zur Waldbaulichen Behandlung von *Nothofagus*-Primär- und Sekundärwäldern in den Anden der IX. und X. Region Chiles. Dissertation del LMU. DAAD. Freising, Alemania. 171 págs.
- Rocuant, L., 1969.** Raleos en los Renovales de Roble - Raulí (15 años de observaciones). Actas Primer Seminario sobre Situaciones Actuales y Posibilidades Futuras del Manejo de los Renovales en Chile. 56 pp.
- Tuley, G., 1980.** *Nothofagus* in Britain. Forestry Commission. Forest Record 122. 26 págs.
- Veblen, T. y Ashton, D. H., 1978.** Catastrophic Influences on the Vegetation of the Valdivian Andes, Chile. Vegetation. Vol 36 (3). Págs 149-167.
- Veblen, T., 1992.** Regeneration Dynamics. Chapter 4 in D. C. Glenn-Lewis. R. K. Peet and T.T. Veblen. (eds). Plant Succession: Theory and Prediction. Chapman and Hall. London.

## COMPORTAMIENTO DE CONÍFERAS BAJO RIEGO EN DIQUE YAUCHA PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA.

Calderón Alberto D., Bustamante Juan A., Riu Nuria E. y Perez Silvina A. Ingenieros Agrónomos, Instituto Forestal, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo. Dirección Postal: Almirante Brown 500. Chacras de Coria. CP 5505. Mendoza, Argentina. [dasonomia@fca.uncu.edu.ar](mailto:dasonomia@fca.uncu.edu.ar)

### RESÚMEN

La provincia de Mendoza se ubica en el Centro- Oeste de la República Argentina. Posee una extensión de 150.830 km<sup>2</sup>. En ella prácticamente todas las actividades agropecuarias y forestales están concentradas en el 3% de su territorio que es posible irrigar.

Al oeste de la misma, en el límite con la República de Chile, se presenta la cadena montañosa que forma parte de la Región Fitogeográfica del Desierto Andino. Se extiende por más de 500 km., con un ancho promedio de 100 km.

El objetivo de este trabajo es evaluar la supervivencia y el comportamiento de distintas especies de coníferas en zonas del piedemonte mendocino.

Para ello se instaló una parcela experimental en el Dique Yaucha, ubicado en el Departamento de San Carlos a 34° LS y 69° 07' LW y a una altitud de 1213 msnm.

Las especies del ensayo son: *Pinus pinea* L., *Pinus halepensis* Mill. y *Cupressus arizonica* Greene. Se llevó plantas de aproximadamente 0.70 m de altura, que fueron instaladas a una distancia de plantación definitiva de 3 m x 3 m y se riegan superficialmente por surcos.

Se toma periódicamente datos dasométricos de diámetro a altura de pecho (DAP) de todas las plantas, altura total de los árboles promedio de cada especie, registrándose además las fallas producidas y el estado sanitario.

Los resultados obtenidos a la edad de 17 años son: *Cupressus arizonica*, diámetro promedio 20 cm, altura 7.75 m y 18.1 % de fallas; *Pinus halepensis*, diámetro promedio 16 cm, altura 8.60 m y 12.2 % de fallas; *Pinus pinea*, diámetro promedio 17 cm, altura 6.60 m y 22.5 % de fallas.

Es de destacar que *P. pinea*, presenta el 6 % de los árboles con fustes bifurcados a baja altura.

Todas las especies presentan un buen estado sanitario, no registrándose hasta la fecha plagas o enfermedades que hayan afectado el desarrollo del ensayo.

**Palabras claves:** Coníferas, riego, zonas áridas, montaña.



## CONIFERS BEHAVIOUR UNDER IRRIGATION IN THE YAUCHA DAM PROVINCE OF MENDOZA - ARGENTINA

### SUMMARY

The Province of Mendoza is located in the Mid-Western part of Republic Argentina with an extension of 150.830 Km<sup>2</sup>. There all agrarian and forestry activities are concentrated in a 3 % of its territory which is able to be irrigated.

On the West side part of the province by the border with Republic of Chile appears the mountain ridge (Cordillera de Los Andes) which is a part of the Fitogeographical Region called Andean Desert, extended for over 500 km with an average wide of 100 km.

This work is aimed to evaluate the survival and the behaviour of different species of conifers in the mountainous country side of Mendoza.

To do so there was installed experimental plots in Yaucha dam, placed in San Carlos Department at 34° SL and 69° 07 WL, at an altitude of 1213 m. Species on test were *Pinus pinea* L., *Pinus halepensis* Mill and *Cupressus arizonica* Greene.

Seedlings of approximately 0.70 m height were used, installed at a definite plantation distance of 3 m x 3 m with surface irrigation by furrows.

Measurements of diameter, total height, survival are periodically done, together with a review of the sanitary situation of the trees.

Results obtained at the age of 17 years are: *Cupressus arizonica*; diameter 20 cm, height 7.75 m, failure 18.1 %. *Pinus halepensis*; diameter 16 cm, height 8.60 m, failure 12.2 %. *Pinus pinea*; diameter 17 cm, Height 6.60 m., Failure 22.5 %

It is to be noted that *Pinus pinea* presents 6 % of trees with bifurcated stems at low height.

All species are in good sanitary conditions not registering any pests or diseases affecting the experiment up to date.

**Keywords:** Conifers, irrigation, arid zones, mountains.

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Mendoza se ubica en el Centro-Oeste de la República Argentina. Posee una extensión de 150.830 km<sup>2</sup>.



Su territorio presenta una región montañosa al oeste y una plana al este. La región montañosa forma parte de la Región Fitogeográfica del Desierto Andino, más al este aparece la llanura que es parte de la Región Fitogeográfica del Monte Xerofítico.

El clima en el llano es árido templado. Las lluvias son escasas, torrenciales y de corta duración en verano, y suelen estar acompañadas de granizo; mientras que en invierno son prolongadas y finas. La relación evaporación potencial sobre precipitación es varias veces la unidad.

La temperatura disminuye con la altitud y hacia el sur de la provincia, siendo frecuentes las heladas de hasta  $-15$  y  $-20$  °C en algunos sectores.

Las actividades agropecuarias están concentradas en los oasis irrigados que representan solo el 3% de la superficie total de la provincia. Las principales son fruticultura, viticultura y horticultura, mientras que la actividad forestal generalmente es complementaria, ocupando unas 15.000 ha con cultivo de álamos bajo riego. Teniendo en cuenta que el 97% restante de su superficie no tiene prácticamente ningún aprovechamiento desde el punto de vista silvícola, el Instituto Forestal ha desarrollado líneas de investigación que intentan introducir especies de valor forestal en esa área; desarrollando para ello experiencias, tanto en zonas de llanura como en zonas de pre-cordillera hasta los 3.500 msnm.

Específicamente en zonas de montaña y piedemonte, en base a experiencias locales y la bibliografía consultada sobre el tema, se ha preseleccionado una serie de especies tanto latifoliadas como coníferas para llevar a cabo experiencias de adaptación en tres etapas: 1) Etapa de selección, 2) Estudios de crecimiento y 3) Estudios sobre manejo y producción.

El trabajo aquí presentado muestra los resultados obtenidos en la primera de las etapas arriba descritas, con diversas especies de coníferas, en una parcela situada a los 1.213 msnm..

## OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar la supervivencia y el comportamiento de distintas especies de coníferas en zonas del piedemonte mendocino.

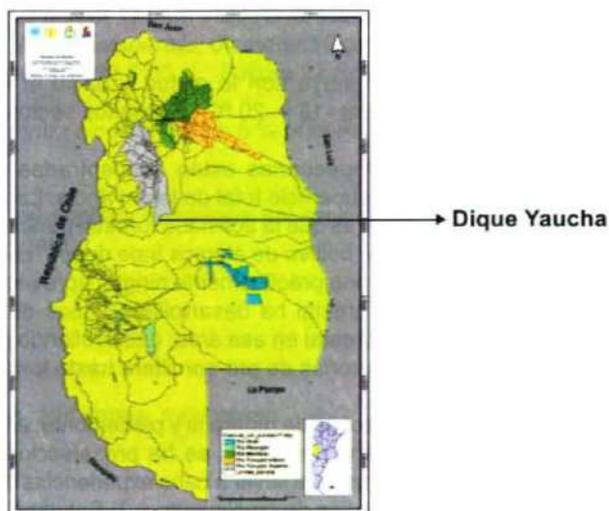
## ANTECEDENTES

El Instituto Forestal está desarrollando desde hace más de 20 años ensayos destinados a la selección y el estudio del crecimiento, el manejo y la producción de especies introducidas, que sirvan de base para futuros emprendimientos forestales.

A tal efecto se cuenta como antecedente el trabajo Comportamiento de Coníferas Bajo Riego en Mendoza publicado en el XII Congreso Forestal Mundial, donde se menciona la selección de coníferas en dos parcelas de montaña por su supervivencia, se destaca las especies que mostraron mayor aptitud en distintos sitios, como son *Juniperus virginiana*, *Cupressus arizonica*, *Cupressus macrocarpa*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Ubicación del Ensayo y Descripción del Sitio



<b>Localidad</b>	<b>Yaucha</b>
<b>Latitud</b>	33°57' Sur
<b>Longitud</b>	69°04' Oeste
<b>Altitud</b>	1213 msnm
<b>Temperatura media</b>	13,2 °C
<b>Temperatura máxima absoluta</b>	37,6 °C
<b>Temperatura mínima absoluta</b>	-14,8 °C
<b>Precipitación anual</b>	343 mm
<b>Suelo</b>	Pedregosos a arenosos muy permeables

En el Dique Yaucha se presentan vientos suaves a moderados. Inviernos con precipitaciones en forma de nieve entre 40 y 50 cm. El riego se realiza a través del arroyo Yaucha.

### Especies en Ensayo

En base a experiencias y observaciones locales de árboles ya existentes y la consulta y búsqueda bibliográfica, tomando en cuenta las analogías climáticas y/o edáficas de las zonas de origen con la localidad donde se instalarían las parcelas, se decidió comenzar la primer etapa de adaptación con las siguientes especies: *Cupressus arizonica* Greene, *Pinus pinea* L. y *Pinus halepensis* Mill



Pinus halepensis



Pinus Pinea



Cupressus arizonica



Vista General del Ensayo

### Plantación

Se utilizó plantas de aproximadamente 0,70 m. de altura que, luego de 2 años de cría en vivero, que fueron llevadas con pan de tierra e instaladas a una distancia definitiva de 3 m x 3 m, en hoyos realizados manualmente de 0,5 x 0,5 m. El riego es superficial por surcos.

### Variables Medidas

Fueron medidos en forma periódica los parámetros diámetro a la altura de pecho (DAP) de todas las plantas y altura total de los árboles promedio de cada especie, registrándose además las fallas producidas y el estado sanitario.

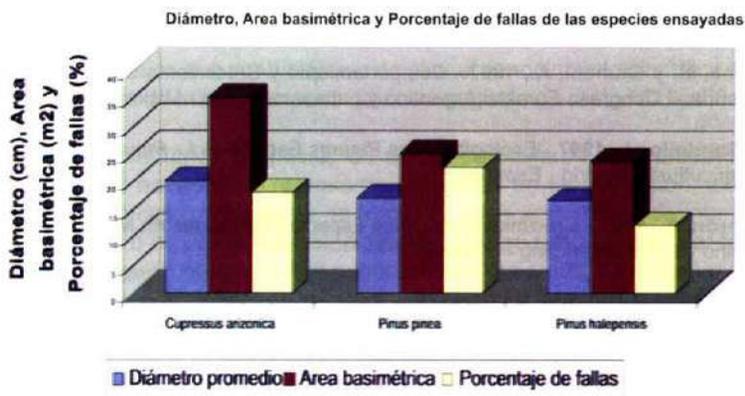
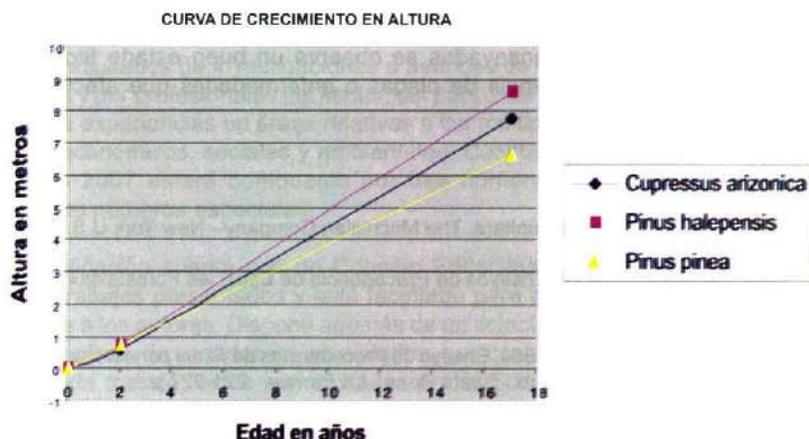
### RESULTADOS

Los valores medios de las variables medidas a los 17 años de edad son los indicados a continuación.

#### ENSAYO YAUCHA 17 AÑOS EDAD

Especie	Fallas (%)	Altura Promedio (m)	Diámetro Promedio (cm)	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)
Pinus halepensis	12,2	8.60	16.55	23,68
Pinus pinea	22,5	6.60	17,05	25,13
Cupressus arizonica	18,1	7,75	20,12	35,00

En las figuras siguientes se muestra en forma gráfica el crecimiento en altura y los porcentajes de fallas y las áreas basales a los 17 años de edad de las parcelas.



El 6% de las plantas de *Pinus pinea* presenta fustes bifurcados entre la base y 1,50 m de altura. Se observó una gran amplitud en los valores de diámetros y alturas, que se estima, es consecuencia de la gran heterogeneidad del suelo.

## CONCLUSIONES

Todas las especies presentaron un porcentaje de fallas considerada aceptable para las condiciones del ensayo, siendo *Pinus halepensis* la que mostró mayor supervivencia.

---

*Cupressus arizonica* presentó la mayor Área basal, aunque todavía no se puede asegurar si continuará con la misma tendencia en los próximos años. Otro aspecto importante de esta especie es el alto grado de cobertura que produce sobre el suelo, característica fundamental como agente protector de los factores erosivos.

En todas las especies ensayadas se observa un buen estado fitosanitario, no detectándose a la fecha la presencia de plagas o enfermedades que afecten el normal desarrollo de las mismas.

## REFERENCIA

**Bailey, L. H., 1955.** The Cultivated Conifers, The Macmillan Company - New York U.S.A.

**Burley, J., 1969** Metodología de los Ensayos de Procedencia de Especies Forestales» - UNASYLVA - Volumen 23 (3) 24-28 p.

**Enricci, J.; Pasquini, M. y Petray, E., 1983.** Ensayo de Procedencias de *Pinus ponderosa* en la Patagonia Andina.- V Congreso Forestal Argentino - Santa Rosa - La Pampa - 221-227 p.

**Gandullo, J., 1972.** Ecología de los Pinares Españoles III - *Pinus halepensis* Mill. I.F.I.E. - Ministerio de Agricultura - Madrid - España.

**Lell, J.; y Giunchi, A., 1988.** -*Pinus halepensis* y *Pinus brutia*, Especies Aptas para la Forestación de Tierras Semiáridas Argentinas. VI Congreso Forestal Argentino - Santiago del Estero - 859-863 p.

**Lell, J.; Scarone, M. y Giunchi, A., 1997.-** Comportamiento y Crecimiento de Especies del Género *Pinus* en La Pampa. II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano - Misiones .

**Nicolas, A. y Gandullo, J., 1967.** -Ecología de los Pinares Españoles I - *Pinus pinaster* Ait.- I.F.I.E. - Ministerio de Agricultura - Madrid - España.

**Riu, N. y Calderón, A., 1997.-** Crecimiento de Cinco Especies Forestales en Mendoza» - II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano - Misiones -.

**Calderón, A.; Bustamante, J.; Riu, N.; Pérez, S. y Settepani, V., 2003.** Comportamiento de Coníferas Bajo Riego en Mendoza, Argentina XII Congreso Forestal Mundial – Québec - Canadá

---

## 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 estará 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, Conclusiones, Reconocimientos (optativo) y Referencias. En casos muy justificados Apéndices y Anexos.

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. El Summary es evidentemente la versión en inglés del Resumen. No deben incluir referencias, cuadros ni figuras. Bajo el título se identificará los autores y a pie de página su institución y dirección.

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

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

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

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

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

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

## **Apuntes**

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

---

obviando los puntos que resulten innecesarios. En su primera página arriba tendrán el título del trabajo y la identificación de los autores, institución y país.

## 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 12, una línea, eventualmente dos como máximo. Dos espacios bajo éste: Autor (es), minúsculas, letra 10 y llamado a pie de página indicando Institución, país y correo electrónico en letra 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.

Título puntos principales (Resumen, Summary, Introducción, Objetivos, etc) en mayúsculas, negrita, letra 10, margen izquierdo. Sólo para Introducción usar página nueva, resto puntos principales seguidos, separando con un espacio antes y después de cada uno. Títulos secundarios en negrita, minúsculas, margen izquierdo. Títulos de tercer orden minúsculas margen izquierdo. Si fuesen necesarios títulos de cuarto orden, usar minúsculas, un tab (8 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 (no Bibliografía) deben aparecer en orden alfabético por la inicial del apellido del primer autor, letra 8, todas las referencia citadas en texto y sólo estas. En este punto la identificación de la referencia debe ser completa: Autor (es), año. En negrita, minúsculas, primeras letras de palabras en mayúsculas y todos los autores en el orden que aparecen en la publicación, aquí no se usa *et al.* A continuación, en minúscula y letra 8, primeras letras de palabras principales en mayúscula, título completo y exacto de la

---

publicación, incluyendo institución, editorial y otras informaciones cuando corresponda. Margen izquierdo con justificación ambos lados. Ejemplo:

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

En referencias:

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

Cuadros y Figuras: Numeradas correlativamente, no deben repetir información dada en texto. Sólo se aceptan cuadros y figuras, no así tablas, gráficos, fotos u otras denominaciones. Toda forma tabulada de mostrar información se presentará como cuadro y al hacer mención en texto (Cuadro N° 1). Gráficos, fotos y similares serán presentadas como figuras y al ser mencionadas en texto (Figura N° 1). En ambos casos aparecerán enmarcados en línea simple y centrados en la página. En lo posible su contenido escrito, si lo hay, debe ser equivalente a la letra arial 10 u 8 y el tamaño del cuadro o figura proporcionado al tamaño de la página. Cuadros deben ser titulados como Cuadro N° , minúsculas, letra 8, negrita centrado en la parte superior de estos, debajo en mayúsculas, negritas letra 8 y centrado el título (una línea en lo posible). Las figuras en tanto serán tituladas como Figura N° , minúscula, letra 8, negrita, centrado, en la parte inferior de estas, y debajo en mayúsculas, letra 8, negrita, centrado, el título (una línea en lo posible). 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, eventualmente en colores, siempre que reúnan las características de calidad y resolución que permitan su impresión.

Abreviaturas, magnitudes y unidades deben estar atentas a la Norma NCh 30 del Instituto Nacional de Normalización (INN). Se empleará en todo caso el sistema métrico decimal. Al respecto es conveniente recordar que 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<sup>3</sup>**, 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.

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

---

al autor, si no hay acuerdo se recurre nuevamente al Consejo Editor o los miembros de este que han participado en el arbitraje o calificación del trabajo.

## **ENVIO DE TRABAJOS**

Procedimiento electrónico. En general bastará enviar archivo Word, abierto al Editor sbarros@infor.gob.cl

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

El autor deberá indicar si propone el trabajo para Artículo o Apunte y asegurarse de recibir confirmación de la recepción conforme del trabajo por parte del Editor. Respecto del peso de los archivos, tener presente que 1 Mb es normalmente el límite razonable para los adjuntos por correo electrónico. No olvidar que las imágenes son pesadas, por lo que siempre al ser pegadas en texto Word es conveniente recurrir al pegado de imágenes como JPEG o de planillas Excel como Metarchivo Mejorado.

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





# CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL

ARTICULOS	PAGINA
FIFTY YEARS OF RESEARCH ON ESTABLISHING AND GROWING TREES IN WIND EXPOSED DEFORESTED AREAS OF NORTHERN SCOTLAND. Alan Harrison, Bill Rayner and Bill Mason. UK.	213
AVANCES BIOTECNOLÓGICOS EN CASTAÑO: MULTIPLICACIÓN <i>IN VITRO</i> DE ÁRBOLES SUPERIORES. Marta González O., Oriana Ortiz N. y Susana Benedetti R. Chile.	227
BOSQUE MODELO: DESARROLLO SUSTENTABLE EN ACCIÓN. Mónica Gabay. Argentina.	237
¿PUEDEN LAS PLANTACIONES FORESTALES ACTUAR COMO CATALIZADORAS DE LA SUCESION SECUNDARIA? Florencia Montagnini. Argentina.	257
SUPERVIVENCIA, CRECIMIENTO INICIAL E INTERACCIÓN CON EL SITIO DE PROGENIES DE ÁRBOLES PLUS DE PINO OREGÓN <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco. Braulio Gutiérrez C. Chile.	273
EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y ALGORITMOS HEURÍSTICOS COMO HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN EN BOSQUE PRIMARIO DE LA PATAGONIA. Simón Moreira Muñoz y Paulo Moreno Meynard. Chile.	285
PREDICCIÓN DE VALORES GENÉTICOS VÍA REM/BLUP EN FAMILIAS DE <i>Eucalyptus cladocalyx</i> ESTABLECIDAS EN EL NORTE DE CHILE. Sandra Perret D., Freddy Mora P. y María Paz Molina B. Chile.	301
ENSAYOS DE HIBRIDACIÓN ARTIFICIAL OSP en <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>E. camaldulensis</i> CON OTRAS ESPECIES DEL GENERO TOLERANTES AL DÉFICIT HÍDRICO. Patricio Rojas, Sandra Perret y María Paz Molina. Chile.	311
EXPERIENCIA DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN ASERRIO. Katia Manzanares, Digna Velázquez y M. Antonia Guyat. Cuba.	325
INCORPORACIÓN DE <i>Boletus edulis</i> Y <i>Boletus pinicola</i> EN PLANTACIONES DE <i>Pinus radiata</i> EN CHILE. Patricio Chung G., Juan Carlos Pinilla S., Karoline Casanova D. y Hernán Soto G. Chile.	335
INDICADOR DE EXPECTATIVA SECTORIAL PARA EL SECTOR INDUSTRIAL MADERERO DE CHILE. Cristian Pérez S., Jorge Cabrera P. y Gonzalo Hernández C. Chile.	349
COMPETENCIA Y SU RELACION CON LOS PARAMETROS GENETICOS EN CLONES DE EUCALIPTO. Nahum M. Sánchez Vargas y J. Jesús Vargas Hernández. México.	361
<b>APUNTES</b>	
VALORIZACION DE LOS BOSQUES DE SEGUNDO CRECIMIENTO PARA LOS TIPOS FORESTALES ROBLE - RAULI - COIGUE Y COIGUE - RAULI - TEPA. Hans Grosse W, Oscar Larrain L y Rodrigo Mujica H. Chile.	371
COMPORTAMIENTO DE CONÍFERAS BAJO RIEGO EN DIQUE YAUCHA PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA. Alberto Calderón, Juan Bustamante, Nuria E. Riu y Silvina Perez. Argentina.	385
<b>REGLAMENTO DE PUBLICACION</b>	393



**INFOR**



GOBIERNO DE CHILE  
Ministerio de Agricultura

Volumen 13 N° 2  
Agosto 2007