

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



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

<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>Sebastião 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 sbarros@infor.gob.cl</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>†</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>†</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 un 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>	8	11
<i>Picea sitchensis</i>	29	47
Larch sp.	8	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  $-16^{\circ}\text{C}$ ).

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 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 N° 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>Ailurus glutinosa</i>	<i>Lonicera ledebourii</i>
<i>Cupressocyparis leylandii</i>	<i>Ailurus incana</i>	<i>Oleana macrodonta</i>
<i>Abies grandis</i>	<b><i>Alexulius hippocastanum</i></b>	<i>Prunus tenax</i>
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Ribes alpinum</i>
<i>Cupressus macrocarpa</i>	<i>Castanea sativa</i>	<b><i>Senecio jayifolius</i></b>
<i>Larix decidua</i>	<i>Croceogon corymbosa</i>	
<i>Larix x europaea</i>	<b><i>Fagus sylvatica</i></b>	
<i>Larix kaempferi</i>	<i>Fraxinus roborata</i>	
<i>Pinus nigra</i> var <i>maritima</i>	<i>Populus alba</i>	
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Populus tremula</i>	
<i>Pinus mugo</i>	<i>Prunus pedunculata</i>	
<i>Tsuga heterophylla</i>	<i>Quercus ilex</i>	
	<i>Quercus robur</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 latter 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., Courts, 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.
- Acimatación 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, *plus*, se realizó en terreno a través del escalamiento de los árboles superiores previamente seleccionados.

El material a micropropagar correspondió a árboles adultos, lo cual está 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 (Polivinylpirrolidone) 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>,<sup>\*</sup> nitratos, sales y vitaminas, 3 mg/L de IBA y agar; luego colocar durante 5 días en oscuridad y traspasar a medio BTM<sub>1</sub>, sin hormona y finalmente en fotoperiodo 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 Minico	1979	Cañete	Arauco	VII
2	Santa Luisa (Litupa)	Forestal Minico	1980	Colipulli	Malleco	IX
2	Quitos Bajos	Herman Toeter		Quepe	Cauín	IX
2	Volpir	Carlos Weber	1973	Villarrica	Cauín	IX
3	Pilo Pilo	Forestal Tornagaleones	1980	Valdivia	Valdivia	X
1	Los Copihues	Forestal Anchie		Valdivia	Valdivia	X
5	Las Palmas	UACH	1962	Valdivia	Valdivia	X
2	Los Pinos	UACH	1975	Valdivia	Valdivia	X
1	Tornagaleones	Forestal Anchie		Comel	Valdivia	X
3	Las Minas	Forestal Tornagaleones	1982	Comel	Valdivia	X
2	Tanco	Forestal Anchie	1989	Pelluco	Valdivia	X
2	Las Trancas	Forestal Valdivia	1975	La Unión	Valdivia	X
3	Pelico	Forestal Valdivia	1976	La Unión	Valdivia	X
1	San Pedro	Forestal Valdivia	1980	Los Lagos	Valdivia	X
1	Pumitafue	Forestal Tornagaleones	1982	Mafi	Valdivia	X



## Colecta de Propágulos y Establecimiento de Cultivos

El procedimiento utilizado para coleccionar 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).

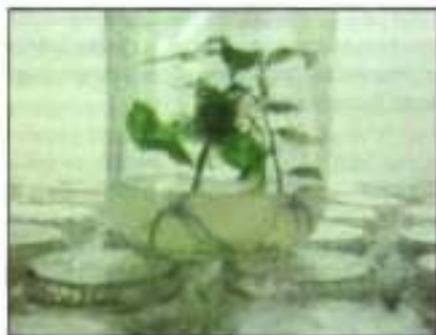


Figura N° 2  
ETAPA DE ENRAIZAMIENTO DE BROTES DE CASTAÑO, VIII REGIÓN, CHILE

### Acclimatación 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 Chestnut. *Tree Physiology*, 8: 59-70

**Sánchez, M.; Ballester, A. y Vieitez, A., 1997 a.** Reinvigoration Treatments for the Micropropagation of Mature Chestnut 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 (2006), 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/clm/national/what-quoi/modelforest\\_e.html#what](http://www.nrcan.gc.ca/clm/national/what-quoi/modelforest_e.html#what).

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

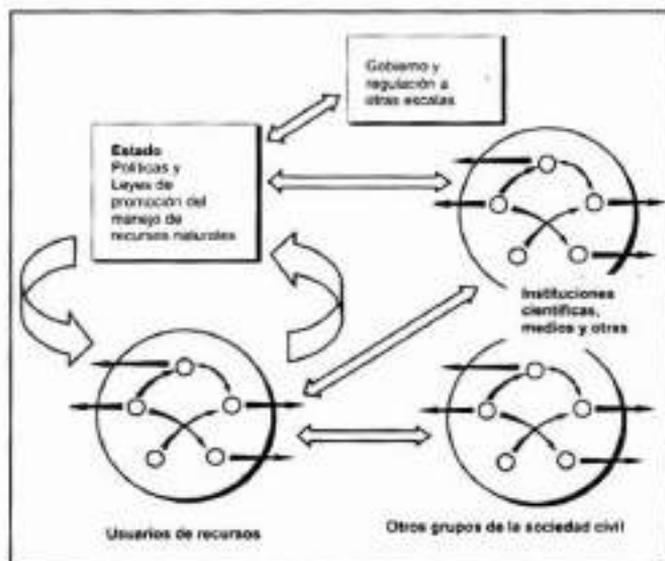
<sup>8</sup> El Programa Canadiense de Bosques Modelo los define como lugares en los cuales se desarrollan, prueban y comparten prácticas de manejo forestal sustentable (Canada's Model Forest Program, 2003; Canadian Model Forest Network, 2006).

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 aquellos 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).

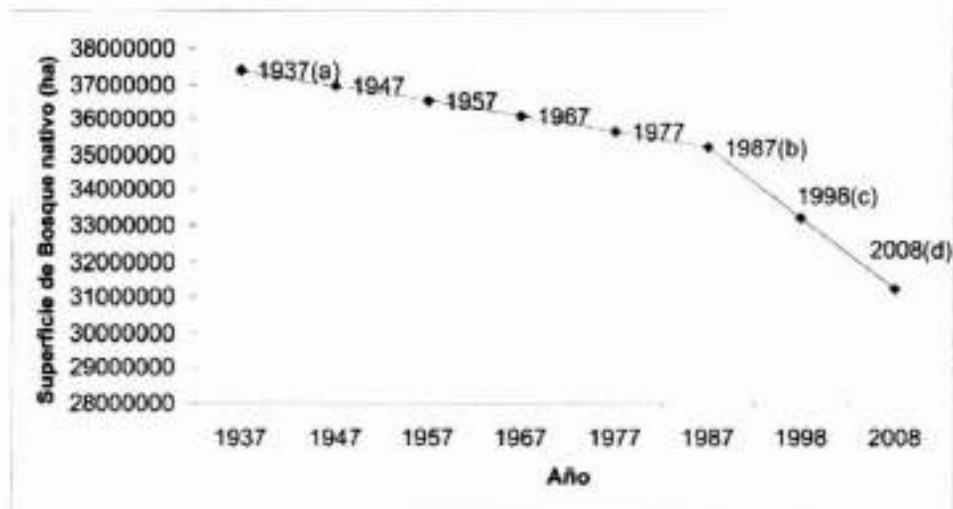
Figura N° 1

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>9</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>9</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>19</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>19</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	1995	2001	800.000	Parque Chaqueño
Bosque Modelo Futaleufú	1995	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 participativas 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>17</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>17</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>11</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>11</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.

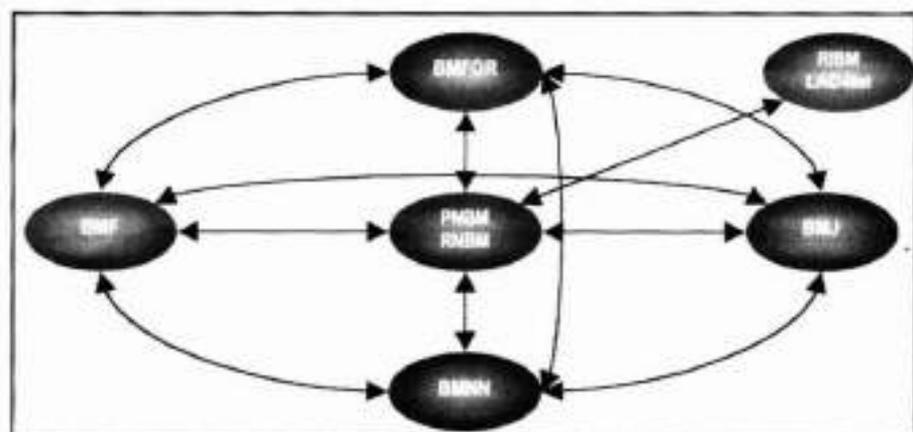


Figura N° 3

### 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 RBM, 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/conf/151/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://dataaccessdds.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\*

### 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 aichomeoides* 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 aichomeoides*, 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

---

\*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 brachyata* (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 presentan 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 *Balfizia elegans* (BE), *Hyeronima alchomeoides* (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 (Camevale 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*, *Viola koschnyi*, *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia ferruginea*. (Camevale 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 Nº 1  
PROMEDIOS DE ABUNDANCIA DE INDIVIDUOS ARBÓREOS POR TRATAMIENTO PLANTACIÓN 1, 2 Y 3 A LOS 7 AÑOS DE EDAD DE LAS PLANTACIONES

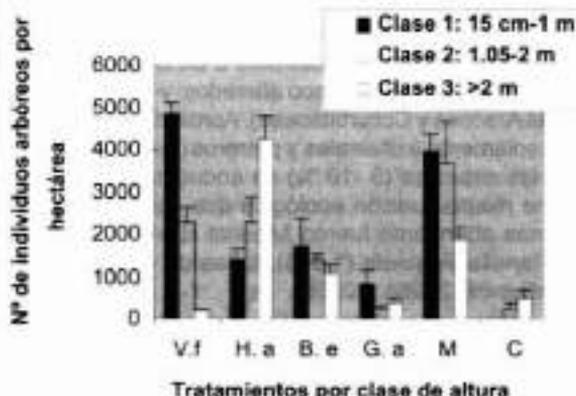
Plantación 1		
Tratamiento	Nº Individuos/32 m <sup>2</sup>	Nº Individuos/ha
<i>Vochysia guatemalensis</i>	90	28 125
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	78	24 375
<i>Jacaranda copaia</i>	57	17 812
Mixta 3 especies	88	27 500
Regeneración natural	29	8 937

Plantación 2		
Tratamiento	Nº Individuos/32 m <sup>2</sup>	Nº Individuos/ha
<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

Plantación 3		
Tratamiento	Nº Individuos/32 m <sup>2</sup>	Nº Individuos/ha
<i>Vochysia ferruginea</i>	18	5 703
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	25	7 891
<i>Balfizia elegans</i>	13	4 219
Mixta 3 especies	32	10 156
Regeneración natural	2	703

Datos tomados de Carnevale y Montagnini (2000; 2002) y Cuseck 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 Nº 1). Para la Clase 3 (> 2 m) el mayor número de individuos arbóreos se encontró bajo *H. alchorneoides* (4219) (Figura Nº 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 : *Gempa 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.

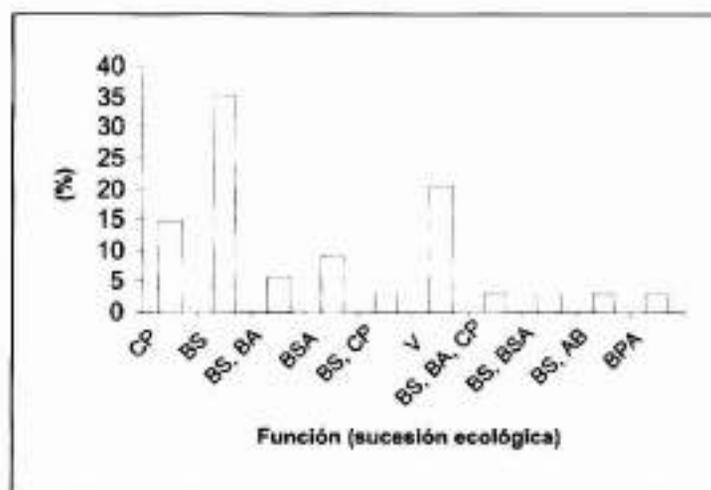
Los tratamientos de regeneración natural presentaron más semillas dispersadas por viento que los tratamientos de plantaciones donde los dispersores fueron principalmente las aves y los mamíferos (Cuadro N° 2). Es importante tener en cuenta que muchas semillas poseen más de un agente dispersor, como aves y mamíferos en el caso de semillas de las especies de *Miconia* sp, *Dendropanax arboreo*, *Cecropia obtusifolia*, *Cucurbitaceae*, *Rollinia pittleri*, 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 sprecia* 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 (*Renalmia alpinia*, *Psychotria bracheata*, *Palaicourea 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 poleros (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 (%)	
Jacaranda copaie	0	2	8	71	14	6	100
Calophyllum brasiliense	12	-	-	64	10	14	100
Vochysia guatemalensis	94	-	1	-	3	2	100
Mixta 1	13	-	-	79	-	7	100
Regeneración natural 1	60	1	-	-	10	10	100
Terminalia amazonia	-	-	-	99	-	1	100
Viola koehnyi	-	-	-	98	1	1	100
Dipteryx panamensis	2	-	-	96	-	-	100
Mixta 2	5	-	3	88	2	3	100
Regeneración natural 2	-	-	97,7	0,3	2	-	100
Bauhinia elegans	-	-	-	100	-	-	100
Hyceronima alchorneoides	44	-	-	49	2	4	100
Vochysia ferruginea	98	-	-	1	-	1	100
Mixta 3	18	0	0	79	1	2	100
Regeneración natural 3	-	-	100	-	-	-	100

(Fuente: Orozco Zamora y Montagnini; 2005a; 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*, *Virota koschnyi*, *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia ferruginea* son altamente recomendables para favorecer la regeneración natural en el solobosque 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 pastos 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; Karl, 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) 51-87.

**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, [bgutier@infor.cl](mailto:bgutier@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 (Malacahuello, 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, conifera 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 Malalcahuello.



## 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 ÁRBOL 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	Curacautín	IX	✓	✓
IN 8*	26	Reserva Malalcahuello	Curacautín	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**	45	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	Litán	X	✓	
IN 35	28	Fundo Arquihue	Litán	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 Matihuales	Coyhaique	XI	✓	✓
IN 45	28	Reserva Matihuales	Coyhaique	XI	✓	✓
Total de progenies					30	27

\* 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:

$$Y = \mu + B + P + e$$

Donde:

- $\mu$  = 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	85,8
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	27,85	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	43,48	24	A BC	IN-41	31,08	12	ABCD
IN-34	46,91	19	A BCD	IN-14	31,81	15	ABCDE
IN-45	47,40	24	A BCDE	IN-40	33,40	15	ABCDE
IN-36	48,75	24	BCDEF	IN-26	33,94	19	ABCDEF
IN-14 **	50,95	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	38,19	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	HJKLMNOP	IN-09	40,95	20	DEF
IN-23	58,93	23	HJKLMNOP	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	61,08	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	65,63	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: 661  
 Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=10,783  
 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 VOPIR				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-28	7,37	19	ABC
IN-02	10,26	14	ABCD	IN-44	7,40	16	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-00 *	7,85	20	ABCD
IN-09 **	11,38	24	BCDEFG	IN-09	7,90	29	ABCD
IN-12 **	11,80	23	BCDEFG	IN-45	7,95	26	ABCD
IN-41	11,75	24	BCDEFG	IN-07 *	8,01	16	ABCD
IN-14 **	11,78	23	BCDEFG	IN-20	8,07	18	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	12,09	24	CDEFG	IN-17	8,57	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-15	9,05	18	CD
IN-05	12,71	24	EFG	IN-36	9,63	6	D
IN-36	12,75	24	EFG				
IN-10 **	13,25	24	FG				
IN-07	13,52	24	G				

Test-Tukey Alfa: 0,05 DMS: 2,27384  
Error: 3,9183 gl: 651  
Letras distintas indican diferencias significativas (p < 0,05)

Test-Tukey Alfa: 0,05 DMS: 1,98038  
Error: 2,0717 gl: 401  
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 MALALCAHUELLO			
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	Malaicahuello (OL)	36,13	36	A BCD
Las Palmas	54,1	95	B	Las Palmas	38,12	65	BCD
Loncoche	56,71	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
Malaicahuello	61,23	45	C				
Test: Tukey Alfa: =0,05 DMS: =5,22976 Error: 77,2797 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 MALALCAHUELLO			
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	36	A
Los Lagos	11,2	47	BC	Trinidad	7,9	65	A
Las Palmas	11,2	95	BC	Malaicahuello (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
Malaicahuello	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 Malaicahuello, 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 ( $R=0,79$ ).

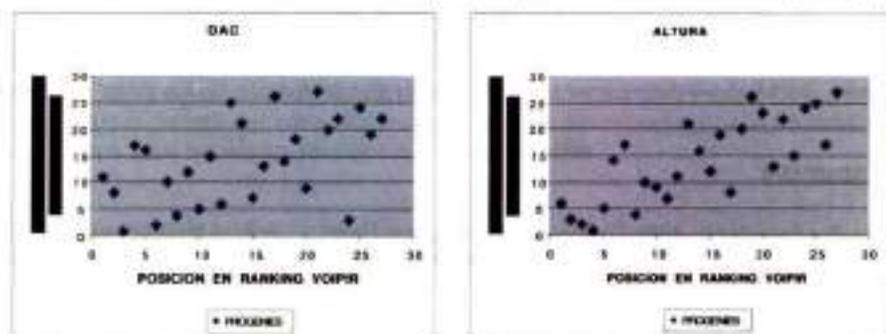


Figura N° 1  
CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LOS RANKINGS DE LOS ENSAYOS VOIPIR Y MALALCAHUELLO.

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 Malaicahuello, 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 Malaicahuello, IX Región, Chile. *Chloris Chilensis*. Año 2, Nº 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 elliptica* var. *elliptica* en el Noreste de Argentina. XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new0-0/forestacion/biblos/pdf/2003/posters/03/211%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 satisfies 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). Schmoidt *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 guíen 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 ha 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 adapten 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 colihue 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 & Farrell, 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 defuge* (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 Ibañez 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<sup>3</sup> 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 madereo, la pendiente y sus respectivas distancias máximas de madereo. 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° 1a y 1b.

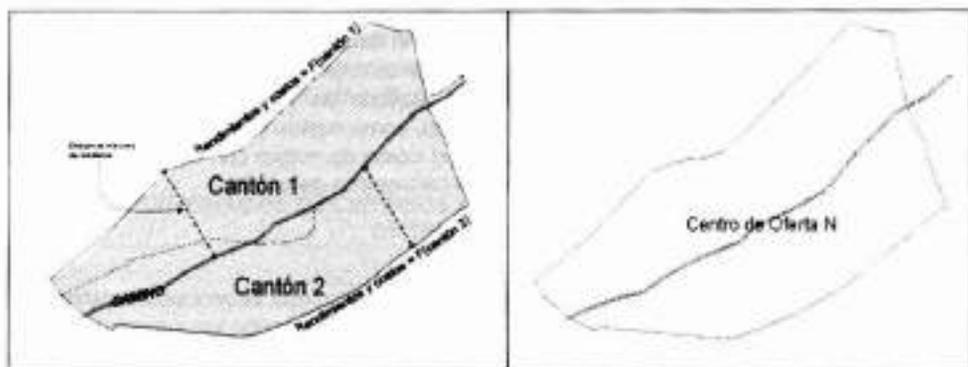


Figura N° 1a

**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° 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

maderero disponibles y sus respectivas distancias máximas de maderero. 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 maderero. Se consideró maderero con torres, *skidder* huinche y yunta de bueyes, con sus respectivas características (Cuadro N° 1). Se calculó un promedio ponderado de costos de maderero 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 motoserrietas, 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 : 1				Mayor a 750 msnm : 2					
		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

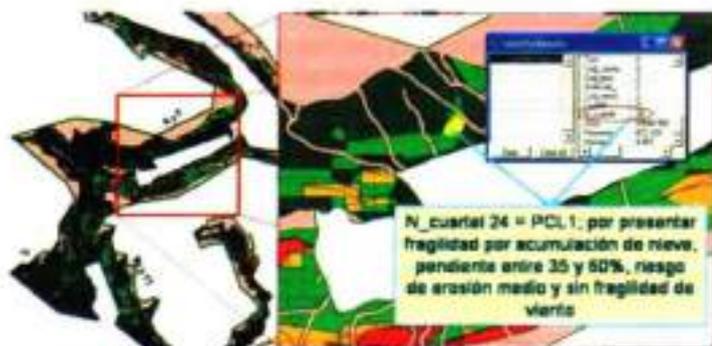


Figura N° 2  
CODIFICACIÓN EN FORMATO DIGITAL

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 aserrijo 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/cof/fe/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 Lengua, *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 Lengua (*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 Lengua 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 Lengua 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.

