



Universidad de Concepción

Curso Internacional de Genética y Biotecnología Forestal

Universidad de Concepción, Chile
27 de Marzo al 7 de Abril del 2006



United Nations
University
UNU-BIOLAC

BioTechnology for Latin America and the Caribbean
Programa de Biotecnología para América Latina y el Caribe



Arauco



INSTITUTE OF FOREST BIOTECHNOLOGY



camcore

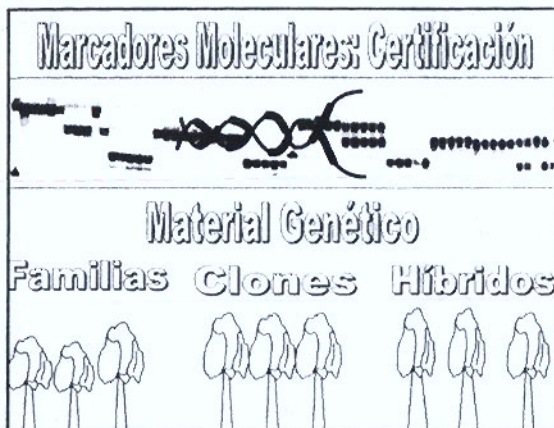
Global partners for the future of our forest

DEPARTMENT of
FORESTRY and
ENVIRONMENTAL
RESOURCES
NC STATE UNIVERSITY









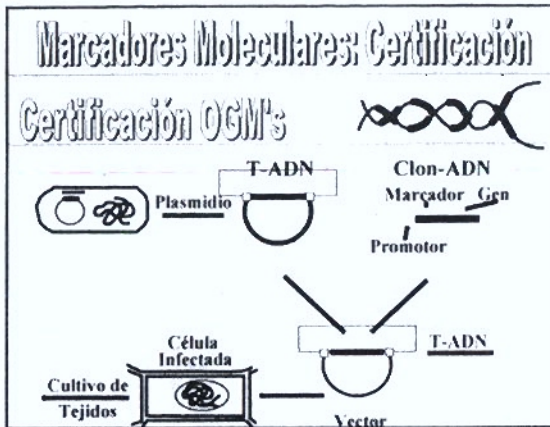






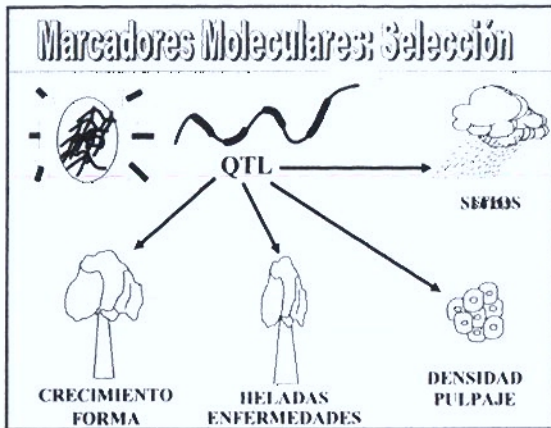






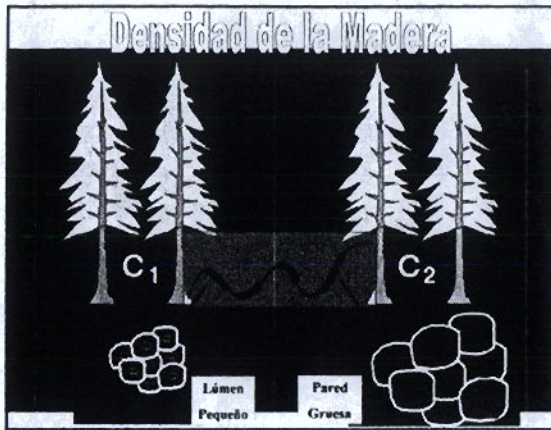


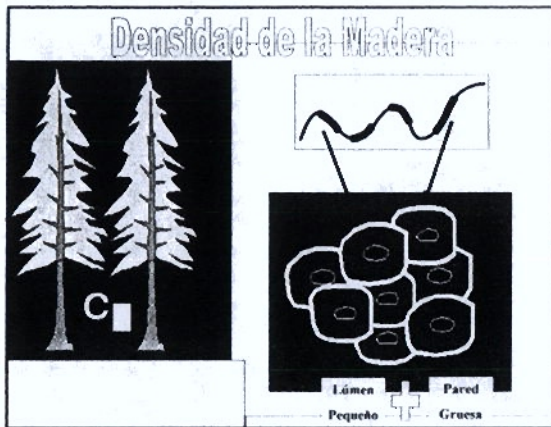


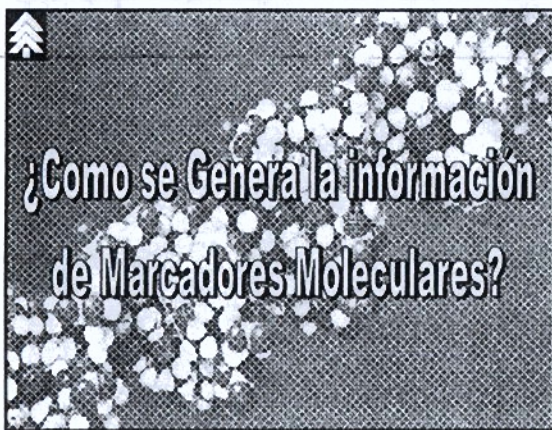




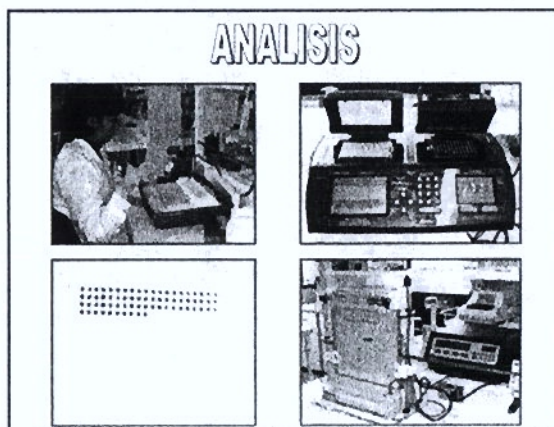


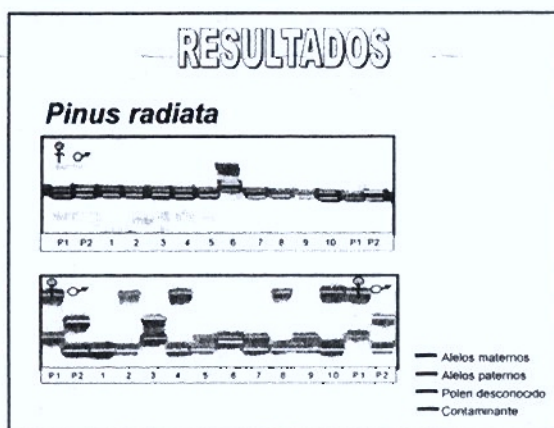








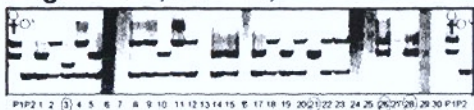




RESULTADOS

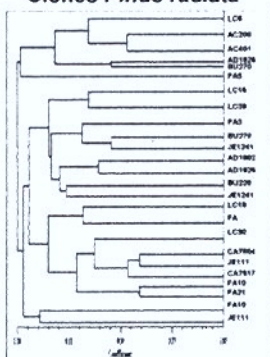
E. globulus, SSR 28,6

- Alelos maternos
- Alelos paternos
- Polen desconocido
- Contaminante



RESULTADOS

Clones *Pinus radiata*

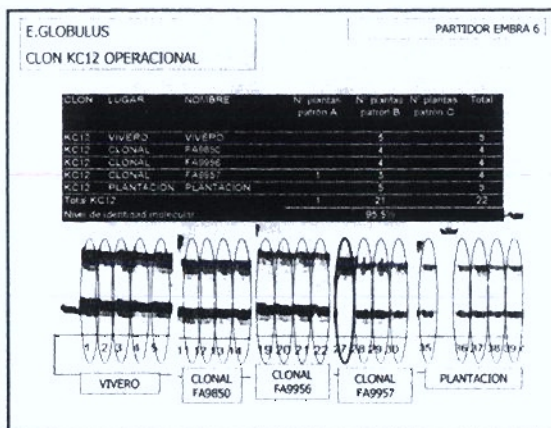


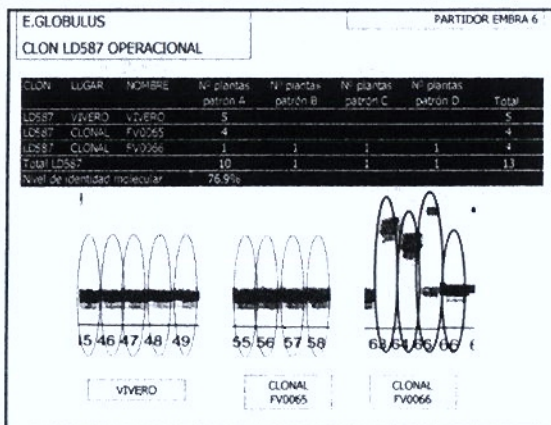
Ejemplo Aplicación práctica

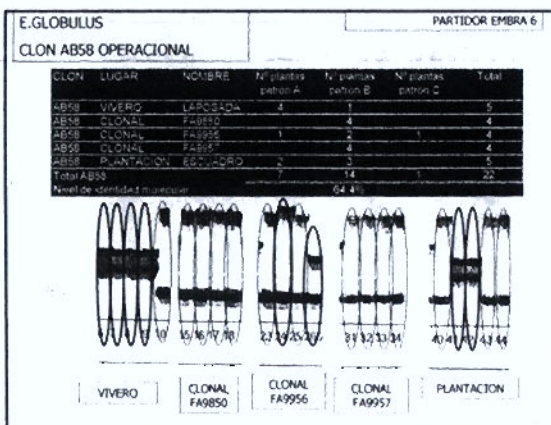
en Arauco

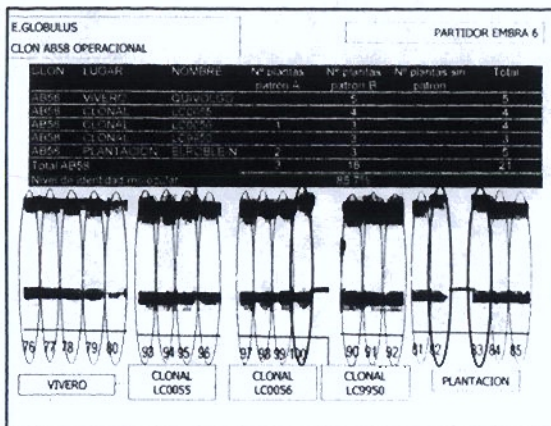


Marcadores Moleculares







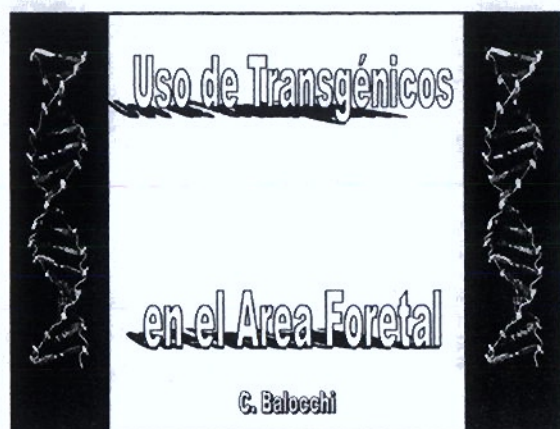


Marcadores Moleculares Arauco

Muestreo
6 Clones
100 muestras Total

Resultado
1 Ensayo clonal invertido
1 sector de setos mal identificado
1 plantacion con mezcla de clones

GRACIAS !!!



OGM's - GMO's

Organismos Genéticamente Modificados (OGM's) son definidos como organismos que han sido modificados a través de la aplicación de la técnica de ADN recombinante (donde el ADN de un organismo es artificialmente transferido a otro organismo. El término "árbol transgénico es también usado para referirse a árboles genéticamente modificados, donde un gen foráneo (transgene) es incorporado al genoma del árbol

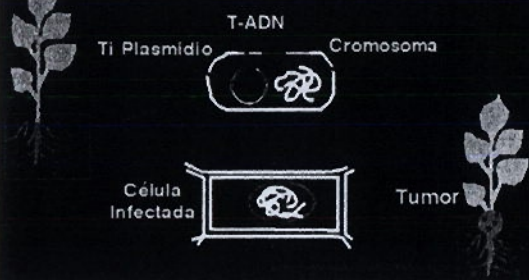
GMO's

Tecnología de Transformación en Forestal

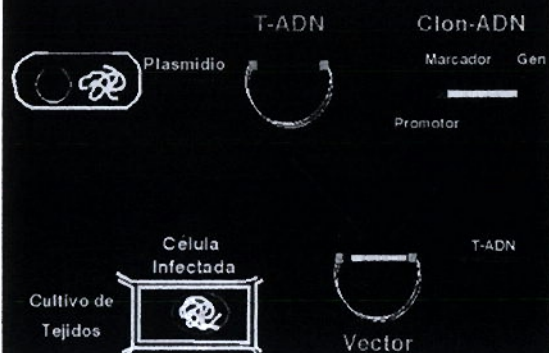
- *Agrobacterium tumefaciens*
- Microproyectil

Agrobacterium tumefaciens

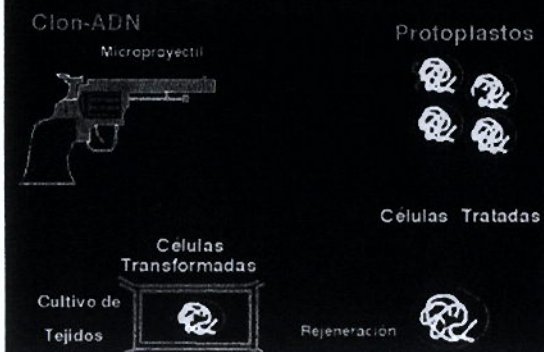
Tiene la habilidad natural de introducir ADN al cromosoma de las plantas



Agrobacterium tumefaciens



MICROPROYECTIL

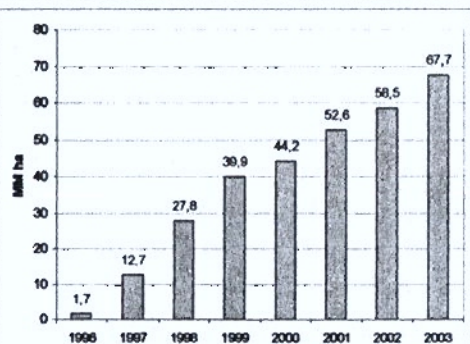


GMO's

Beneficios Potenciales

- Crecimiento y Forma
- Calidad de Madera
- Procesos Industriales
- Resistencia a insectos y enfermedades
- Tolerancia a Herbicidas
- Capacidad de Enraizamiento
- Restauración Ecológica
- Recuperación de Suelos (contaminación)
- Producción de Fármacos

Cultivos Transgénicos en el Mundo



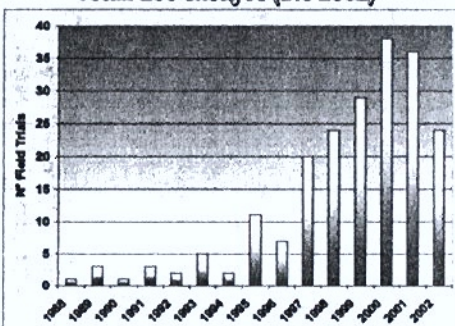
Global Status of Biotech



Ensayos de Campo de Árboles Transgénicos en el Mundo

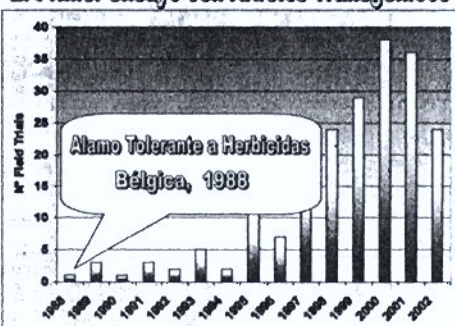
Ensayos GMO de Campo por año

Total: 296 ensayos (Dic 2002)

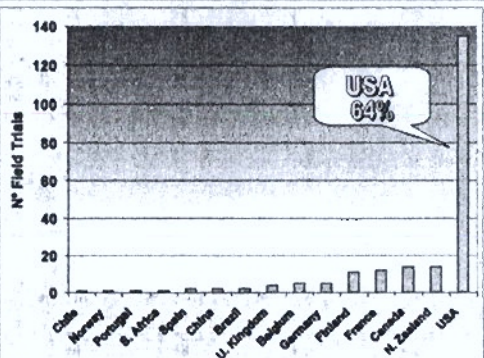


Ensayos GMO de Campo por año

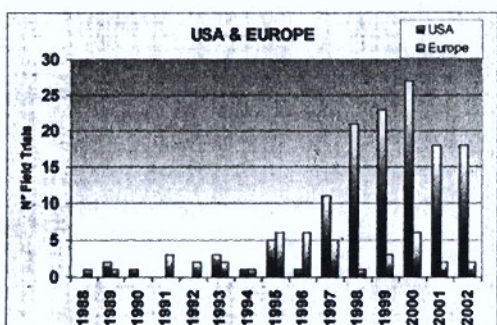
El Primer ensayo con Árboles Transgénicos



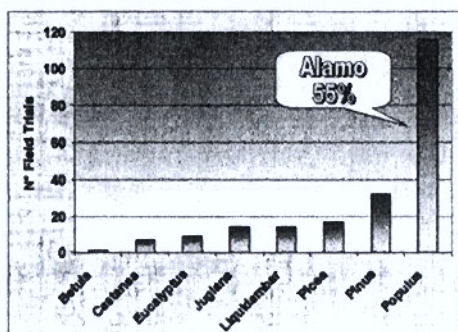
Nº Ensayos GMO por País



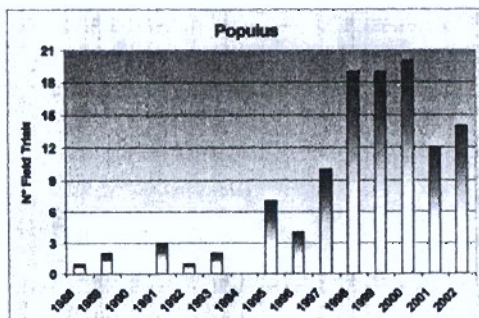
Nº Ensayos GMO por Año: USA y EUROPA



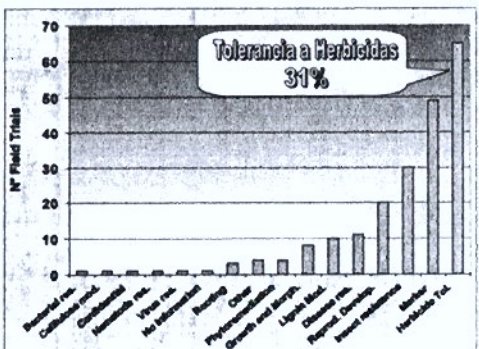
Nº Ensayos GMO por Género



N° Ensayos GMO por Género: Alamos



N° Ensayos GMO por Categoría de Modificación



Instituciones involucradas en ensayos GMO's

Institution	N° Totals
Oregon State Univ., USA	43
Westvaco, USA	35
ArborGen, USA	18
Forest Research, New Zealand	13
Laurentian Forestry Centre, Canada	12
University of California at Davis, USA	12
Finnish Forest Research Inst., Finland	7
Plant Genetic Systems, Belgium	5
Michigan Tech. Univ., USA	4
Union Camp, USA	4
University of Helsinki, Finland	4
Total	157
	75%

1/3 de Ensayos

Distribución de Ensayos GMO's por Tipo de Institución

Institución	N° Ensayos	%
Universidades	79	38
Empresas Privadas	78	37
Organizaciones Públicas	50	24
Desconocidas	3	1
Total	210	100

Uso Comercial de Árboles Transgénicos en el Mundo

China - 2002

Populus nigra Transgénico (Gen Bt)

1989 Inicio del Proyecto

1994 Ensayos de Terreno

1998 Evaluación Ambiental

2002 Autorización Uso Comercial

1 millón de árboles transgénicos a terreno el 2003

Xiao-hua et al. 2003. XII World Forestry Congress, Quebec City, Canada
www.ifo.org/DOCS/REP/ARTICLE/WFC/XII/0230-02.HTM

¿Cuándo será posible usar árboles transgénicos?

La respuesta depende a lo menos de los siguientes aspectos:

Técnicos
Económicos
Políticos y Públicos

Aspectos Técnicos

- Estabilidad de las transformaciones
 - Estabilidad del gene
 - Estabilidad del efecto (promotores)
- Sitio de inserción y número de copias
- Expresión órgano específica
- Esterilidad de los GMO's
- Propagación (embrionogénesis - organogénesis)
- Desarrollo genético

Aspectos Económicos

- Propiedad Intelectual
 - Royalties
 - Edad de Rotación
- Tecnología vs Material Genético
 - Tecnología = Empresas Tecnológicas
 - Material Genético = Empresas Forestales
- Alto Riesgo (regulaciones poco claras)

Aspectos Políticos y Públicos

- Regulaciones
 - Nacionales
 - Internacionales
- Preocupación Pública
 - Riesgo de escape
 - Super malezas
 - Super plagas
 - Impacto en los valores éticos

La aceptación pública
de los árboles transgénicos
definirá el futuro de ésta
tecnología en forestal



New Trees, New Issues

Thirteen Questions about the Application of Biotechnology to Trees and Forests Worldwide

How do we think about trees? How do we think about technology? How do we think about forest biotechnology in a balanced framework of benefits and risks that considers outcomes from use or rejection of the technology? Who are the "we" doing the thinking?

Technologies, first and always, yield changes — to the earth and to people, to ways of thinking and ways of doing, to imagination and productivity, to products and applications, to our daily life and long-term future. As such, technologies inevitably are accompanied by complicated and interrelated societal outcomes.

The societal outcomes of technology are important considerations as technology is developed. Springing from human needs and goals, shaped by human abilities and values, these outcomes at times unfold as expected — and at other times yield unexpected challenges and opportunities. The outcomes of technology can seldom be fully measured or evaluated in the short-term, for they play out over time and within multiple aspects of human activity. This document seeks simply to identify the broadest questions we must address regarding products and applications, potential risks, and expected gains.

How can the diverse societal outcomes of tree and forest biotechnology be identified and addressed?

Thinking about Tree and Forest Biotechnology

The question is significant because trees and technology are significant — to lives, economies, productivity, survival, and the planet. For trees, we feel pleasure and often love; we relish their presence just as we are dependent upon their use. For technology, we acknowledge total dependency and occasional uncertainty; we are aware that technologies have shaped the last 500 years of our advancement, but mindful that they yield questions as well as personal and societal advantage.

The societal questions and issues of forest biotechnology, as, indeed, of any technology, are diverse in type, and often debated from a variety of perspectives: *procedural, ethical, cultural, national or international, religious, philosophical, economic, regulatory, environmental, or personal*. All of these perspectives are significant, reminding us of the importance, implications, and responsibilities of applying new technology to trees. While these perspectives often directly define the nature of the issue, they cannot be easily separated. As a rule, they overlap. Ultimately, environmental questions are as much ethical as regulatory; personal responses to technology are shaped by economic and cultural imperatives.

The societal outcomes of forest biotechnology merit full and thoughtful attention. They are complicated and compelling. To ensure the shared goal of diverse parties and interests worldwide — *that forest biotechnology be appropriately developed for societal, ecological, and economic benefits* — requires that societal issues be identified and addressed.

Attention must be paid to the societal outcomes of forest biotechnology in five different categories:

- The *outcomes* of forest biotechnology are broad and varied in type. Products, applications, and economic impact will be gained, as will questions, benefits and risks, and change.
- No single vantage point or agenda can alone shape identification and understanding of the issues, questions, or outcomes. A wide view, multiple parties, and a mind open to unification are required.
- Reflexive, quick, or formulaic responses are unlikely to be credible or useful.
- Application of biotechnology to trees yields consequences, but failure to do so probably will as well. Both options must be explored.

- Identification and resolution of the challenging issues at hand are unlikely to be gained easily or quickly, but lessons from other adopted technologies can provide a basis from which to work as they apply to forestry.

This document is an introductory guide to the societal issues and outcomes of forest biotechnology. It offers ways to think about such issues, not evaluation or data about them.

Approaches and frameworks for thinking about forest biotechnology, and for advocating or decrying it, have been early laid out by diverse parties worldwide, some academic, some didactic, some based on agenda or vantage point. Underlying most points of view, as well as this document, are several simple but profound questions to shape responses to this or any technology:

- *What are the potential benefits?*
- *What are the potential harms?*
- *Who will likely benefit and who may be harmed?*
- *What is lost and what is gained?*

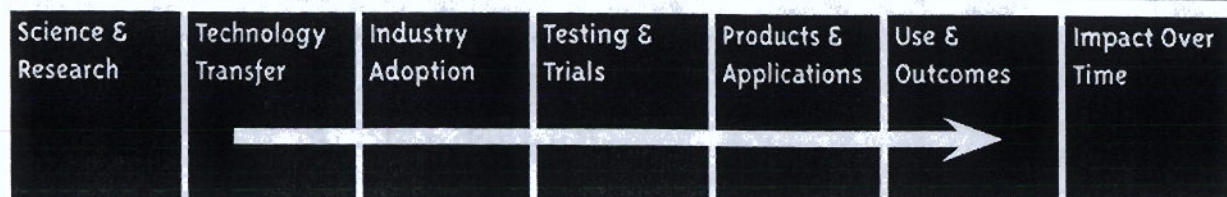
The Institute for Forest Biotechnology urges all parties attentive to tree biotechnology worldwide to seriously and methodically address these questions over time. Beginning to do so early in the developmental life of tree biotechnology is both sound policy and responsible strategy.

Trees and Forests are Important

Trees are *profoundly* important. Trees are vital to life on this planet, key to environment and ecology; they are an indispensable component of human societies. Remarkably, trees yield one of the world's most important economic sectors; as well, they have an extraordinarily wide mythic, symbolic, religious, and cultural resonance.

Trees and forests yield more associated values than any other crop or plant. Behaviors and policy reflect value-based responses to trees worldwide. Human responses to threats or loss can be passionate, emotional, and shaped by barely conscious reasons. Forests or trees are often preserved by policy in richer countries for their ecological, historical, rec-

The Process of Biotechnology Development: Questions and Issues Vary by Stage and Participant



Forest biotechnology, like any technology, moves through a process, a continuum of different stages and participants, from science and research to companies, products, and societal impact. General predispositions to technology underlie goals and behaviors, as well as acceptance of both change and risk. Subsequent stages differ in outcomes and activities and, most importantly, in the types of questions and issues raised. Awareness of this process and its implications provides a key framework for considering issues and outcomes of the technology.

Although the process has logic and cohesion, two recognitions are central. First, stages and participants are usually separated by time and place. As a result, research discoveries might yield applications not expected at the onset; field trials might be unable to anticipate long-term outcomes. Second, participants vary widely by values, goals, and activities. It is unlikely that all will think the same way about questions raised at any or all stages.

SCIENCE AND RESEARCH: Setting of priorities and directions. Implications of discoveries. How is the research agenda set? By what parties or policies is it set? How can applications and results of science over time be anticipated?

TECHNOLOGY TRANSFER: Who can own, and under what terms, intellectual property and germplasm? How does commercialization move to shared outcomes and benefits?

INDUSTRY ADOPTION: How are application and product decisions set? In doing so, what is the balance between economic and other gains? How is initial attention directed to short-term and long-term safety and outcomes, to environmental issues, and to public responses? How can industry respond to varying cultural, policy, regulatory, and public interest frameworks worldwide?

TESTING AND TRIALS: Is the developed product or application safe in both its designated habitat and larger environment? How can short- and long-term impacts be measured or anticipated? What level of possible risk is acceptable, in balance with other societal, environmental, or economic gains?

PRODUCTS AND APPLICATIONS: What is the balance between economic, personal, and societal gain? How is industry commitment sustained over time? Who most benefits?

USE AND RESULTS: How can benefits serve as many persons and places as possible worldwide? Can products that provide economic gain in one world area provide societal benefits in other countries? What is the right balance? What parties are attentive and responsible over time to outcomes, public responses, and risk-benefit analyses? How are beneficial changes verified? What is the balance between economic, personal, and societal gain?

IMPACT OVER TIME: What are long-term outcomes, consequences, and changes, expected or otherwise? Will genetic changes and ecological inter-relationships play out over time as anticipated? If not, what parties are responsible for evaluation and response?

In addition, biotechnology can be directed towards broad goals equally important to the forestry endeavor and societies worldwide:

- Restoration or strengthening of threatened species.
- Value-added or new products in biomass, seeds, or fruits.
- Providing sources of fuel and structural needs in certain developing countries.
- Increased carbon sequestration.
- Meeting the specific requirements of urban forestry.
- Improvements that will enable long-term energy strategies for reducing CO₂ emissions from fossil fuels.
- Reductions in the area of forest land required to meet the world needs for renewable building products, packaging, papers, energy, and other essential commodities.
- New pest management strategies based on improvements in genetic resistance and reduced need for insecticides and fungicides.

reational, or visual value. Protecting the landscape, in which trees are significant, increasingly is seen as a moral imperative.

Trees have greater impact on culture and consciousness than any other crop or plant. Many persons and cultures in fact give an intrinsic moral value as well as actual value to trees.

It is difficult to imagine a more challenging group of plants to modify utilizing new technology. Why do so?

Gaining More Trees for Human Needs Is Also Important

Trees and forests worldwide are threatened by clear and inexorable pressures only increasing in impact, including: environmental stresses and pollution, development and urbanization, other priorities and uses for forested land, and an expanding population.

At the same time, world dependence on trees and forests will also increase in coming decades. Needs for wood and wood-based products will accelerate, in large part due to the movement of more nations to second- and first-tier status. In coming decades, natural, old growth, or smaller tract forests will as a result be more threatened and potentially diminished, even as the cultural imperative to preserve them will simultaneously increase in many places. To resolve this inevitable tension, plantation forestry worldwide must become more efficient and accepted.

How can more wood be gained without more land and without environmental degradation?

How can some trees be protected? At the same time, how can other trees be grown more effectively and quickly? How can improved traits be gained for growth, survival, and product characteristics?

Careful and appropriate application of biotechnology to some trees yields gains of significant value to these enormously challenging tasks. The application is not, however, without questions and issues.

Targeted Applications and Changes from Tree Biotechnology

Application of biotechnology to trees and forests can yield the changed and improved productivity, growth, survival characteristics, and outcomes required worldwide from trees:

- Growth rate
- Form characteristics: crown, stem, and branching
- Flowering control
- Herbicide tolerance
- Climate adaptation: drought, temperature, and salinity tolerance
- Disease and pest resistance
- Wood characteristics: density and fiber properties
- Lignin reduction and modification
- Fruiting
- Ornamental and horticultural characteristics

7. *Concerning barely explored applications of biotechnology to trees.*

Can biotechnology yield new uses for trees and forests, expanding acceptance, economic gain, societal impact, and strategic value? Over time, can new applications or outcomes include material fiber, food or nutritional additives, biomass improved for biofuels, or uses barely envisioned at present?

8. *Concerning differences between countries involved in forest biotechnology.*

How will forest biotechnology provide benefits for all nations, including emerging countries, or does the technology only provide benefit to a few nations?

9. *Concerning varying frameworks worldwide.*

Nations vary in their regulatory governances, public dialogue, and attention to the ethical, societal, and policy issues of tree biotechnology. Is it possible that ill-considered results in places with divergent oversight and discussion can transfer environmental concerns or public distress to other countries?

10. *Concerning likeliest initial places for major adoption worldwide.*

Will biotechnology first or most yield impact in developing or Southern-tier nations for various reasons, including economic imperatives or less potential ecological impact from introduced non-native species?

11. *Concerning the imperative for sustainability of natural resources and of the natural world.*

How can we ensure that forest biotechnology development, adoption, and policy include this goal among other outcomes and benefits?

12. *Concerning the human imperative to work for improvement and survival.*

What might be the ethical consequences, economic, societal, or ecological, of developing or *not* developing forest biotechnology? What environmental, economic, or quality-of-life values might be lost or gained? Can conflicting ethical valuations be bridged? If so, how?

13. *Concerning a world that must in time be characterized by two types of trees.*

In order to preserve the *trees of tradition* — trees and forests valued for their age or natural growth, for their importance to culture and recreation, for their ecological impact — is it not realistic and necessary to develop, use, accept, and honestly describe the *trees of technology*?

Two types of trees: the trees of tradition and the trees of technology. The premise and possibility are judged by many to be well worth exploration, as both a new way of thinking and a realistic outcome for a world simultaneously demanding both forest preservation and more wood products.

However, the resulting task and responsibility are significant, novel, and difficult: *how do diverse parties ensure, verify, and quantify that the trees of technology have in fact preserved trees of tradition?*

Persons, institutions, and policy-makers working for development and application of tree biotechnology in coming decades judge that such changes will yield enormous benefits and minimal risks over time.

Others view such deliberate changes with more initial skepticism. As is always the case early in a technology, benefits have yet to be proved and pos-

sible risks cannot be totally disproved in advance of evidence over time.

The bank of information gathered from agricultural biotechnology over the past 20 years provides a base from which forest biotechnology can extrapolate.

Shaping Issues and Implications: Thirteen Representative Questions

A series of representative forest biotechnology issues and questions can be outlined. Each shows inevitable overlap among the different perspectives and vantage points, *procedural, ethical, cultural, international, religious, philosophical, economic, regulatory, environmental, and personal*, which shape the complex forest biotechnology endeavor. Each is significant and not easily addressed and will yield varying responses and interpretations among the different parties attentive worldwide to the technology. However, if these and other questions are posed early in the development and application of forest biotechnology, resolution of these issues are more likely to occur in coming years and ensure a positive outcome for the technology.

1. *Concerning the initial decision.*

What are the broad societal benefits and risks of undertaking forest biotechnology? How quickly should it be adopted or should its development be delayed or never undertaken?

2. *Concerning the more realistic question at hand.*

The application of biotechnology to trees has been under development for more than 20 years by universities, governments and industry. The more practical question addresses *how not if*: How can tree biotechnology be appropriately and carefully developed and applied in coming decades worldwide?

3. *Concerning unexpected consequences over time.*

Forest biotechnology, like any technology or human intervention, from automobiles to dams and pharmaceuticals, is likely to reveal full impacts only over time. How can stability of targeted modifications to trees, large, numerous, and significant in the landscape, be ensured over years or decades? How might genetic

modifications yield unexpected changes? Under what circumstance might such changes not be relevant? How can potential environmental outcomes be anticipated over many years?

Even with responsible care, informed dialogue, and regulatory oversight, how completely can the *future* of modified trees be anticipated *today*?

How is a long-established stand of trees changed or recalled if unacceptable risks arise?

4. *Concerning the forests on which life is dependent.*

What do we expect of our forests? How do we define — or redefine — the nature, outcomes, and uses of a forest? Are expectations and values of forests, be they aesthetic, recreational, environmental, or economic, diminished or strengthened by forest biotechnology? How can the technology work to ensure that *enhancing the value* of trees and forests is a prime goal?

5. *Concerning plantations: how are inevitable tensions balanced?*

As population expands and the demand for wood increases, the need to increase productivity of existing forests is imperative. Adoption of this technology in plantation settings must balance with possible diminishment or loss of forests as rich ecological environments.

6. *Concerning the tree vs. the forest and the park vs. the plantation.*

How does quantity and clustering matter? Are genetically modified trees — in parks or around our houses — more socially acceptable than trees altered for improved wood density planted in production forests?

THE INSTITUTE OF FOREST BIOTECHNOLOGY

R. C. Kellison and Susan McCord¹

The Institute of Forest Biotechnology (IFB) is a non-profit organization that exists from October 2000. It was spawned by the North Carolina Biotechnology Center (NCBC) that serves as the catalyst for start-up of biotechnology organizations and then to have the organizations become self-dependent. The model has worked exceedingly well for entities associated with the pharmaceutical and medical industries, and even for some of the biological science endeavors. The venture into forestry was a gambit for NCBC, but fortuitous for society worldwide. The objective of this paper is to trace the history of IFB and to set the course for its future.

BACKGROUND

Commercial-scale genetic improvement programs of forest trees began in the late 1940s in Scandinavia, and spread most notably to Europe, North America, Pacific Rim and southern Africa. The procedure was based on plant and animal breeding: selection of superior phenotypes from wild populations or unimproved plantations, cross pollination of selected trees according to a predetermined scheme, and progeny testing of the resultant offspring.

Results from the progeny tests served two purposes: (1) assessment of the genetic worth of the parents, and (2) creation of a population of trees from which the next cycle of selection is practiced. The first result allowed the seed orchards to be rouged of the poorest performing parents, leaving only the best ones (best genotypes) to cross pollinate and produce seeds for commercial use. The second result allowed the genetics program to build on itself, *i.e.*, the second cycle of breeding is based on the best genetic stock in the first cycle, and the third cycle is based on the best genetic stock of the second. Certain precautions are taken with each succeeding generation to keep the genetic base sufficiently broad to prevent inbreeding depression.

Genetic gains in volume production are incremental from one generation to another. Results from the North Carolina State Tree Improvement Program show genetic gains in volume production of loblolly pine (*Pinus taeda*) from a first-generation seed orchard to be 7 to 12 percent greater than an unimproved seed lot of the same geographic source. Likewise, the second cycle of breeding from an unrouged seed orchard showed gains from 13 to 21 percent greater than the unimproved seed lot. When the orchards from the second cycle of breeding were rouged to 30 percent of the best clones gains in volume production increased by 26 to 35 percent over the control lot (Li *et al.* 1999). In addition to volume production, resistance to fusiform rust (*Cronartium fusiforme*) a debilitating fungal disease that can cause mortality from the worst-case scenario to stem malformation and wood degradation under less intense infections.

Even greater genetic gains can be achieved by crossing the best clones as determined by progeny testing. Volume production in excess of 50 percent over the control lot is a

¹ President and Program Leader, respectively, Institute of Forest Biotechnology, P.O. Box 13399, Research Triangle Park, NC (USA). www.forestbiotech.org

reality by using control mass pollination (CMP), but greater still is the gain to be obtained from clonal forestry. Even the variation among clones, all of which can arise from common parentage, *i.e.*, same mother and father, is highly variable, ranging from 35 to 52 percent in one study that was planted at multiple locations (Pait 2004). Despite the variation among clones the genotype x environmental interaction was highly stable ($r_b = 0.85$ to 0.91).

The use of biotechnology in forestry has great potential for increasing volume production per unit area per unit time; altering wood properties; restoring or preserving species that are threatened, endangered or have special social or historic value; remediating soils; and cleansing the atmosphere of air pollutants. Despite those attributes, a segment of society is opposed to the 'genetic modification' of plants, especially trees. Little do they realize that genetic modifications are constantly occurring in nature. Every time a bee carries pollen from one apple blossom to another a new genetic entity is formed that is different genetically from a sister apple on an adjoining twig.

As opposed to genetically modified organisms (GMOs), the issue about which society is most concerned is genetic engineering (GE). In that situation, bits of foreign DNA are inserted into the genome of the target plant. The foreign DNA might come from a separate part of the genome of the same plant, or it might come from a related or a non-related plant or, in some cases, from a species of a completely different genus or phylum. As an example of the phylum differences, *Bacillus thuringiensis*, a soil bacterium inserted into the target plant connotes insect resistance to widely grown crops of corn, cotton and soybeans. Research in progress shows the bacterium to have a similar effect on repelling insect attack on poplars (*Populus* spp.). In fact, confirmed reports show that one million black cottonwood (*P. nigra*) plantlets engineered with *B. thuringiensis* were plantation-established in China in 2003 (Balocchi and Venezuela 2004).

Success in genetic engineering of forest trees will be 20 years in the making before plantations exist in the United States, Europe and other parts of the world. To pave the way for that event, IFB is devoting its energies to Heritage Trees®, which are trees that are threatened, endangered or have high economic and social value. The species of choice to demonstrate the effects of genetic engineering, inclusive of potential negative impacts to man and the environment, is American chestnut (*Castanea dentata*). That species that spanned the length of the Appalachian Mountains and foothills was destroyed by a fungus (*Chryphonectria parasitica*) of Orient origin that was first described in the New York Botanical Garden in 1904. Within 30 years the entire population, containing more than three million trees, were killed to ground level. The tree exists today, in ever-decreasing numbers, only from root sprouts which, themselves, are killed by the fungus when they get arm-size in diameter.

Breeding programs of the occasional escape have been in existence for decades in hopes of finding genotypes with resistance to the disease. Little progress has been made. The greater opportunity appears to be in a backcrossing program between American and Chinese chestnuts, where the Chinese parent connotes resistance to the disease. Progress is being made by The American Chestnut Foundation to produce an offspring that is 94

percent American chestnut while retaining only enough Chinese genes to confer resistance. The backcrossing program is nearing completion and the results appear promising. However, resistance will never be complete under a system that involves genetic recombination. An alternative to the backcrossing approach is to identify the genes in Chinese chestnut that confers resistance and use the information to direct breeding programs for the desired outcome. The information could be further refined to allow insertion of the genes into American chestnut to obtain the tree with American chestnut phenotypic traits with the genetic resistance of Chinese chestnut.

The Institute of Forest Biotechnology has convened a group of scientists from throughout the range of American chestnut, from New York to Georgia, to commence the task. The plan is to develop a work plan for submission to the National Science Foundation for funding to identify the genes. Cooperating in the project are representatives from ESF (Syracuse), Penn State, NC State, TACF, USDA Forest Service, and Georgia. IFB is responsible for coordination of the project, and eventually for shepherding the product through the regulatory agencies for approval for deployment.

American chestnut is the bellweather for Heritage Trees®. It is joined in the United States by such icons as flowering dogwood (anthracnose disease), Eastern hemlock (hemlock wooly adelgid), Fraser fir (balsam wooly adelgid), white ash (ambrosia beetle), and a host of other species both here and abroad.

The anticipation is that when we get one of the Heritage Trees® through the research and regulatory paths, species of commercial value will soon follow. The traits of a commercial species is one that has a short life to financial maturity, and that is an exotic, which would give relative assurance that it wouldn't hybridize with another species of indigenous origin. Save for *Populus* spp., we have no short-rotation species in the United States, and species of that genus would likely outcross with trees in diverse wild populations. The anticipated scenario is to take the results from the Heritage Trees® to apply to species in a foreign land, such as eucalyptus in Brazil. An introduced species such as *Eucalyptus grandis* with a rotation age less than seven years would appear to be a prime candidate. Only time will tell.

PROGRAMA

- 8:15- 8:45 Bienvenida presentación Empresa ARAUCO
- 8:45- 11:00 Visita instalaciones vivero La Posada
- 11:00- 12:30 Viaje Huerto Cerro Alto
- 12:30- 13:30 Visita huerto de Eucalipto
- 13:30-14:00 Colación de Terreno
- 14:00- 15:00 Ensayo EPPC pino predio Los Hermanos
- 15:00-15:40 Viaje a predio San José de Colico
 - 15:40 - 16:20 Ensayo clonal de Eucalipto
 - 16:20-17:15 Ensayo clonal embriogénesis pino
- Fin Visita



ARAUCO

- Es el nombre de un conjunto de empresas industriales, forestales y comerciales organizados bajo una sociedad anónima.
- Las ventas Arauco del año 2005 fueron de US\$ 2.370 millones .



ARAUCO

CELULOSA

MADERA ASERRADA

Producción 2005 > a 2 millones de toneladas
4 plantas en Chile + 1 en construcción
1 planta en Argentina

Capacidad aserrado de 3.380.000 m³/año
Capacidad secado 2.659.000 m³/año
12 aserraderos en Chile (2005)
2 aserraderos en Argentina (2005)



ARAUCO

PANELES

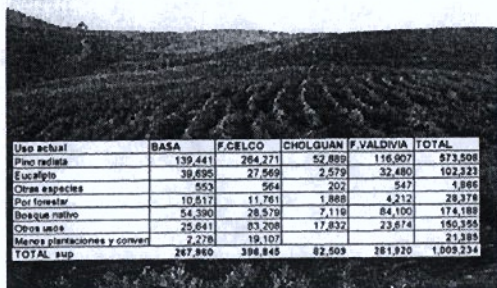
FORESTAL

Producción 2005 de 1.124.000 m³
Terminados libres de nudos
MDF
HB

Patrimonio en Chile, Argentina y Uruguay
de 1.261 mil ha (2005)
Con 697 mil ha plantaciones género Pino y
102 mil plantaciones género Euca



USO ACTUAL DEL SUELO FORESTAL ARAUCO -CHILE (Feb-05)



USO ACTUAL DEL SUELO EN ARAUCO -CHILE (Feb 2005)



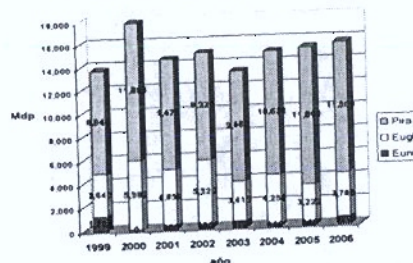


BOSQUES ARAUCO S.A.

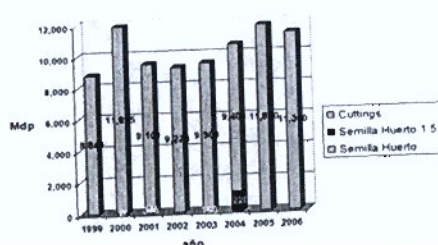
- Administra 268 mil ha de patrimonio
- Produce 4 millones de m³ /año.
- Construye 900 km de camino /año.
- Genera empleo para 5.000 personas.
- Cosecha 8500 ha anuales
- Ralea 4500 ha/año
- Plantación anual de 8.500 ha.
- Produce anualmente 15 millones de plantas



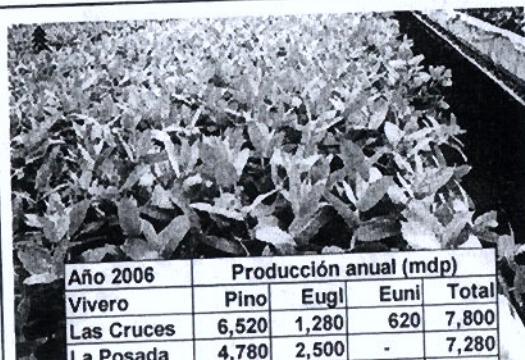
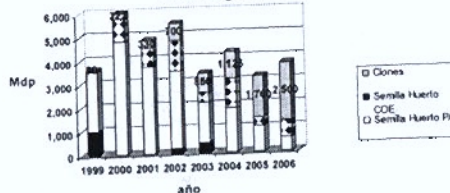
Producción anual de plantas (Mdp) en Viveros BASA



Producción anual de Pino radiata BASA, según origen material genético



Producción anual de Eugl en BASA, según origen material genético



Año 2006	Producción anual (mdp)			
Vivero	Pino	Eugl	Euni	Total
Las Cruces	6,520	1,280	620	7,800
La Posada	4,780	2,500	-	7,280
Total	11,300	3,780	620	15,080

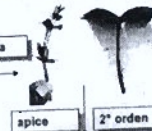


PRODUCCION DE PLANTAS CRC EUGL DESDE MADRES EN HIDROPONIA

META 2006 1.200 Mde ==> 660 Mdp



Estacas Hidroponia



Planta madre en piscina hidropónica
Cosecha Oct-Marzo



Sombreadero

Invernadero

Instalación de estacas con vermiculita en invernadero

PRODUCCION DE PLANTAS CRC DESDE SETOS A INTEMPERIE

META 2006 : 3.350 Mde ==> 1.840Mdp

The diagram illustrates the production process of CRC plants. It starts with 'Plantas madres intemperie: cosecha Dic-Feb' (Mother plants in open air: harvest Dec-Feb), which leads to 'Estacas' (Cuttings). These cuttings are then placed in a 'Sombreadero' (Shade house) and later 'Estacas en invernadero 45 a 50 días' (Cuttings in greenhouse 45 to 50 days). A date stamp '04/04/2005' is visible on the top left image.

Plantas de semilla

META: 1.280 Mdp Eugl de huerto COE-PA y 620 Mdp Euni de APS Chacay

The diagram shows the production process of seedling plants. It begins with 'Siembra manual en sombreadero Dic-Ene' (Manual sowing in shade house Dec-Jan), followed by 'Viverización: Ene-May' (Transplanting: Jan-May). A final image shows 'Plantas 25-35 cm en Abr-May' (Plants 25-35 cm in Apr-May) with the note 'En plantas > 40 cm se hace poda apical' (In plants > 40 cm, apical pruning is done).

Plantas de pino

Metas 2006 4.780 Mdp a raíz desnuda viv. La Posada (700 Mdp ventas, 400 Mdp donación)
6.520 Mdp a raíz cubierta viv. Las Cruces (200 Mdp ventas, 100 Mdp donación)

The diagram depicts the production process of pine plants. It starts with 'Plantas madres de pino. Cosecha de Junio- Octubre' (Mother pine plants. Harvest June-October), leading to 'Estacas de pino' (Pine cuttings). These cuttings are then planted in a nursery, with 'Raíz cubierta: Instaladas Jul-Oct' (Covered root: Installed Jul-Oct) and 'Raíz desnuda: Instaladas Jun-Ago' (Bare root: Installed Jun-Aug) shown as separate stages.

Plantas objetivo

Ambas especies .
PLANTAS rc >= 25 CM
diametros cuello >= 3.0 mm
sustrato firme con raíces
blancas

The diagram shows the objective plants for the project. It includes a photo of two pine cuttings and a photo of a person holding a pine cutting. The text specifies the requirements for the plants: 'Ambas especies .', 'PLANTAS rc >= 25 CM', 'diametros cuello >= 3.0 mm', 'sustrato firme con raíces', and 'blancas'.

BIOTECHNOLOGY: WORKING WITH NATURE TO IMPROVE FOREST RESOURCES AND PRODUCTS

Marguerite Sykes, Forest Products Technologist
Vina Yang, Microbiologist
Julie Blankenburg, Librarian
Said AbuBakr, Chemical Engineer
USDA Forest Service
Forest Products Laboratory
Madison, Wisconsin 53705

ABSTRACT

The role of biotechnology in the forest products industry is expanding beyond the pulp and paper industry. Applications that can contribute to forest sustainability include genetic engineering and phytoremediation. Genetic engineering makes it possible to modify forest trees for desirable traits, such as disease or pest resistance, and to replicate these improved trees by cloning. An example of genetic modification that has direct environmental implications is phytoremediation, the use of genetically modified trees for soil remediation. Phytoremediation works by decontaminating toxic pollutants in the soil or by stabilizing and sequestering toxins. This paper provides an overview of recent publications in these new areas of biotechnology.

INTRODUCTION AND BACKGROUND

The United States is both the largest producer of wood pulp in the world (U.S. mill output equals that of the next four top countries combined) and the largest per capita consumer of paper and paper products. An anticipated rapid growth in world population will place increased pressures on land and wood resources, with an estimated 50% increase in global demand for paper products alone (1). Trees, the raw material of the industry, are a renewable resource; however, we are faced with meeting the increased demand for forest products at a time of increased restrictions on land use and environmental controls.

Environmental issues are intertwined with the whole fabric of society and have many facets—social, political, economic, scientific, and ethical. Biologically based processes can be used in the pulp and paper industry to reduce some negative environmental impacts. Similarly, forest biotechnology can solve some problems faced by forest managers. Effective management of forested lands is central to our quality of life and the sustainability and health of the planet (2). Policies, or a lack of policies, in one part of the world cannot be isolated from their impact on the global community. We need to be concerned with tree improvement as it relates to forest health, biodiversity, sustainability, resiliency, and other conditions linked to the global forest resource (3).

While new breeding techniques, fertilizers, pesticides, and improved cultural methods are conventional ways to improve productivity, genetic engineering is a more controversial alternative. However, biotechnology has the potential for generating forest tree cultivars that cannot be produced by conventional breeding alone. Biotechnological approaches are being investigated for integrating conventional forest tree breeding with forest resource productivity. This paper reviews some possibilities for improving forest trees through hybridization and genetic engineering. An overview of a unique application of genetically altered trees for ameliorating toxins, phytoremediation, is also presented.

BIOTECHNOLOGY APPLICATIONS IN PULP AND PAPER INDUSTRY

Biotechnology has provided environmentally sound solutions to problems faced by the papermaking industry. Kuhad et al. (4) attribute the importance of biotechnology to its potential for more specific reactions, less environmentally deleterious processes, energy savings, and capacity to be used in place of nonbiological processes. Biological products have long played a critical role in paper mill sludge treatment and effluent clarification. Newer biological applications include targeting organic contaminants in thermomechanical pulp (TMP) mill white water for

fungal treatment (5) and dechlorinating kraft bleach effluents with *Rhizopus oryzae* (6). Enzyme preparations are effective in curbing bacterial growth in mill process water and inhibiting the build-up of biofilms (7).

The idea that microorganisms and their enzymes can successfully replace or supplement conventional chemical processes in the pulp and paper industry is gaining acceptance in the United States, following the lead of Scandinavia and Canada. Enzyme preparations have moved from laboratory exploration to mill settings for various industrial applications. Moran (8) views biotechnology as providing new and exciting cost-effective alternatives to complement rather than totally replace traditional technologies. Extensive reviews (9,10) of the use of enzymes for bleaching (11-13), deinking (14,15), pitch removal and drainage enhancement (16,17) illustrate the broad interest in and potential of biotechnology. Relining energy can be significantly reduced if wood chips are pretreated with fungal inocula in the biopulping process (18) or with a bacterial inocula to reduce pitch (19). All of these technologies have advanced to mill-scale trials. Applications that have been successfully transferred to commercial use include xylanases for bleach boosting, cellulases for improved drainage, lipases for pitch removal, and cellulase-hemicellulase mixture for deinking (20,21).

FOREST TREES IN THE ERA OF MODERN GENETICS

The American Forest and Paper Association, through *Agenda 2020*, and the National Research Council of the National Academy of Sciences, through its work *Forestry Research a Mandate for Change*, have recognized the potential of biotechnology through establishing common research priorities for industry:

Sustainable forestry—Sustain productivity of intensively managed forests for present and future generations.

Selection and hybridization—Develop optimum natural species and hybrids for use in local conditions.

Genetic engineering and tree breeding—Modify gene structure and improve genetic selection programs to increase growth rates, improve insect and disease resistance, improve fiber quality, and enhance environmental adaptability.

In keeping with these research priorities, we will discuss two emerging applications of biotechnology for forest trees. These interrelated technologies include

1. genetically altering trees for improved forest health through a higher tolerance for pest infestation, disease resistance, and severe climatic conditions, as well as for enhanced properties such as accelerated growth and unproved papermaking qualities (i.e., reduced pitch or lignin content), and
2. phytoremediation of contaminated soil, air, and water.

Genetic Altering of Trees

Recent advances in gene mapping techniques permit researchers to identify trees with desired traits (e.g., fast growth, resistance to disease or cold temperatures) that can be used to breed improved species by conventional means. Mapping permits researchers to focus on specific genes and their components on the molecular level. Identification of gene function permits gene manipulation and the introduction of new and desirable traits not available in the breeding population. Ultimately, such mapping should permit isolation of desired tree genes that could be engineered directly into target tree species. New techniques for identifying gene "markers" facilitate the location of desired genes useful for tree breeding. Once potentially valuable genes are located, they can be cloned and improved strains of the same or other tree species can be created. Using this technique, Finnish researchers have identified gene markers for cold hardiness in Scots pine and are using these markers to identify trees that could thrive near the Arctic Circle (22).

This approach has also been used by researchers at North Carolina State University, the USDA Forest Service in Athens, Georgia, and the New Zealand Forest Research Institute at Rotorua to locate a gene that imparts resistance to a major fungal pathogen in loblolly pine (23,24). At the University of Wisconsin-Madison and Ohio State University—Corvallis, researchers introduced genes with desirable traits from non-tree species to poplars and white spruce to make these wood species resistant to insect pests or herbicides and further improve their qualities by

genetic manipulations. The resultant trees were protected against defoliating insects and, in some cases, a high percentage of the insects feeding on their leaves were killed (25).

Cloning permits replication of genetically engineered trees and enables mass production of embryos of identical trees that contain one or more value-added traits. Embryos are inserted into manufactured seed and the seeds are sown following conventional culture in a nursery. Identical trees are advantageous in ensuring a uniform raw material that is relatively predictable in its requirements for conversion to pulp and paper (26).

Another approach to genetic altering of trees, which utilizes "antisense constructs" (nucleic acids that bind to the genes themselves or messenger RNAs) to inhibit enzyme production needed for lignin synthesis, has been used by Belgian researchers in their work to minimize the lignin content of trees (27). Obviously, successful development of this work would revolutionize delignification as it is now known.

Some of the tree species selected for genetic engineering include loblolly pine, eucalyptus, poplar, sweet gum, and spruce. These species are either fast growing or especially valuable in the pulp and paper industry. Most tree genetics research is presently conducted at universities or government agencies, often in cooperation with paper companies.

Phytoremediation

One of the most intriguing possibilities of biotechnology identified in this review is that of genetically improving trees to remediate soil contaminated by toxic wastes. Trees are already used for wastewater clean-up, for site stabilization, and as barriers to subsurface flow of contaminated groundwater. Trees are ideal remediators because they are fast-growing perennial plants, with extensive root systems and high transpirational rates (28). Their large biomass is advantageous because it permits higher tolerance for toxic materials and has the capacity for accumulating contaminants. Because plant remediation is done *in situ*, it has the potential to be substantially less expensive than alternative technologies used for detoxification.

The main methods of phytoremediation discussed in the literature are

1. decontamination, in which the amount of toxic pollutants in the soil is significantly reduced or eliminated, and
2. stabilization and containment in which plants and their associated microflora do not remove contaminants but rather alter the soil chemistry and sequester, reduce, or eliminate the environmental risk of the toxin (29).

Work is underway to screen tree species for their ability to tolerate, take up, translocate, sequester, and degrade organic compounds and heavy metal ions. Clonal propagation and genetic engineering techniques already exist for a number of species, which opens the door to the creation of tree "remediation" cultivars (30). This *in situ* use of plants to stabilize, remediate, and restore a contaminated site is referred to as phytoremediation (31).

All plants have the ability to accumulate metals essential for their growth and development; these metals include iron, manganese, zinc, copper, magnesium, molybdenum, and possibly nickel (32). Certain plants accumulate heavy metals that have no known biological function: these metals include cadmium, chromium, lead, cobalt, silver, selenium, and mercury. However, significant accumulation of heavy metals is usually toxic to most plants. For some time, botanists have been aware that certain tree species are endemic to soils containing high metal content (33). Identification of heavy metal tolerance by some plants has led to research that exploits this characteristic for removing metal contaminants by establishing selected vegetation on contaminated soil; these plants are called "accumulating" plants. A specific example of this technology is the development of a transgenic yellow poplar developed for remediating mercury-contaminated soil (34).

Hyperaccumulating plants promise effective, inexpensive remediation of soil, sediment, and groundwater. Whereas metal-tolerant plants exclude toxic metal ions from uptake, hyperaccumulating plants take up high amounts of toxic metals and other ions. An exciting possibility of applying biotechnology lies in identifying a tree species with the ability to tolerate or accumulate toxic substances such as heavy metals or organic compounds. Once identified, this tree species could be introduced in contaminated areas. Furthermore, genetic modification could accelerate

remediation by making the tree a hyperaccumulator, by adapting its growth to diverse climatic conditions, or by enabling faster growth (35).

Phytoremediation is based on root uptake of contaminants and storage in the plant or partial/complete degradation to less toxic compounds. This type of remediation could promote degradation of organic pollutants by increasing soil organic carbon content or by releasing enzymes that promote microbial activity through the plant roots. Phytoremediation could be useful in ameliorating heavy metals and organic compounds such as 2,4,6-trinitrotoluene (TNT), trichloroethylene (TCE), benzene, toluene, xylene, and ethylbenzene (36).

The benefits of phytoremediation include the fact that it is done *in situ* and that it is a passive, solar-driven "green" technology. Roots are exploratory, liquid-phase extractors that can find, alter, and/or translocate elements and compounds against large chemical gradients (37). This technology is most effective on sites containing a low level of contamination that are widely dispersed over a large area in the upper surface of the soil. Phytoremediation can work side by side with site restoration with minimum site disruption. Additionally, plant biomass can be harvested to remove contaminants from the site and trees will re-sprout without disturbing the site. In sites where a valuable heavy metal has accumulated, it may be possible to reclaim the metal from the harvested tree.

Phytoremediation techniques are less expensive than *ex situ* methods, but they require a long time to work. Long-term site remediation and stabilization using trees makes remediation and restoration synonymous, which lowers costs and is compatible with public objectives. The most appropriate type of remediation for a specific site depends on the degree of pollution and the type of toxic material. More intensive remedies are required for localized, highly contaminated sites. Conventional soil remediation methods are more suitable for these sites. These methods typically involve excavation of contaminated soil followed by extraction of the toxin. This *ex situ* technique is usually extremely expensive.

Toxic metal contamination of soil and groundwater is a major environmental and human health problem for which affordable, effective solutions are urgently needed. In agricultural areas, sites are frequently contaminated by a build-up of residual herbicides. Atrazine, a commonly used agricultural herbicide, has been the focus of bioremediation researchers (38). Research with hybrid poplars has resulted in somaclonal variants that tolerate lethal dosages of herbicides. Another aspect of engineered tolerance, pesticide and herbicide resistance, is especially interesting. If trees could be engineered to be more tolerant of the ubiquitous chemicals in soils, substantially higher yields of forest trees could be realized. Such an application was reported by Meilan and others (39) in their work on an engineered resistance to the herbicide Roundup®.

Other possibilities for phytoremediation range from removing concentrations of naturally occurring selenium solubilized in irrigation water and accumulated in surrounding groundwater (40) to using genetically altered eucalyptus trees for absorbing and metabolizing air pollutants (41). The possibilities seem to be limited only by the imagination of researchers and the toxic material present.

CONCLUDING REMARKS

Forest sustainability depends on global interdisciplinary cooperation in silvicultural techniques and continued research to meet projected needs while maintaining a healthy ecosystem. Biotechnology is becoming an increasingly important component of the forest industry. Application of enzyme technology in pulp and paper manufacture has demonstrated environmental advantages. Tree genetics offers the possibility to resolve the increased demands on forest resources through the development of trees more tolerant to diseases, pests, and chemicals, which have a detrimental impact on forest health. Phytoremediation technology has the potential to provide a cost-effective solution to contaminated soil. However, for phytoremediation to become a viable technology, a more complete understanding of the process is essential. End products must be identified and the mechanism by which toxic materials are converted needs to be elucidated. Biotechnology, as applied to forest trees, is still a new science that requires answers to the numerous questions it continuously unveils. This overview of recent publications in the area is to be used as a starting point for understanding some new possibilities that biotechnology can offer the forest products industry.

REFERENCES

1. McNurt, J.A. and J. Renzel, *Pulp and Paper International* 39(2): 48 (1997).
2. Haissig, B. In: *Joint Report #12, Great Lakes Forestry Centre and FAO Branch of the United Nations, "Forest Tree Biotechnology: Unique Tools To Enhance Forest Productivity,"* (1988).
3. Kessler, W., H. Salwasser, C. Cartwright, and J. Caplan, *Ecological Applications*, "New Perspectives for Sustainable Natural Resources Management," 2(3): 221 (1992).
4. Kuhad, R., A. Singh, and K.-E. Eriksson, *Biotechnology in the Pulp And Paper Industry*, "Microorganisms and enzymes involved in the degradation of plant fiber cell walls," Springer-Verlag, vol. 57: 45 (1997).
5. Cai, Y., X. Zhang, E. de Jong, and others, In: *Proceedings, 7th Int. Conf. Biotech. in Pulp and Paper Industry*, "Fungal Treatment of Organic Contaminants Present in the White Water of a TMP Mill," vol. C: 155 (1998).
6. Nagarathnamma, R. and P. Bajpai, In: *Biotechnology Conference*, "Decolorization and Dechlorination of Kraft Bleach Plant Effluent by *Rhizopus oryzae*," Vol. C. p. 199 (1998).
7. Johnsrud, S.C., *Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*, "Biotechnology for Solving Slime Problems in the Pulp and Paper Industry," p. 311 (1997).
8. Moran, R., *Paper Age*, "Biotechnology Applications in the Pulp and Paper Industry," p. 10 (April, 1998).
9. Kirk, T.K. and T. Jeffries, In: *Proceedings, Enzymes for Pulp and Paper Processing, ACS symposium series 655*, "Roles for Microbial Enzymes in Pulp and Paper Processing," Washington, D.C., p. 2. (1996).
10. Eriksson, K.-E. L., In: *Proceedings, Enzyme Applications in Fiber Processing, American Chemical Society, ACS Symposium Series 687*, "Biotechnology in the Pulp and Paper Industry: An Overview," Washington, D.C., p. 2 (1998).
11. Viikari, L., A. Suurnakki, and J. Buchert, In: *Proceedings, Enzymes for Pulp and Paper Processing, ACS symposium series 655*, "Enzyme-Aided Bleaching of Kraft Pulps," Washington, D.C., p. 15 (1996).
12. Tolán, J.S., D. Olson, and R. Dines, In: *Proceedings, Enzymes for Pulp and Paper Processing, ACS symposium series 655*, "Survey of Mill Usage of Xylanase," Washington, D.C., p. 38 (1996).
13. Paice, M.G., R. Bourbonnais, and I. Reid, In: *Jeffries, T. W., and L. Liikari, eds. Proceedings, Enzymes for Pulp and Paper Processing, ACS Symposium Series 655*, Washington, D.C., p. 130 (1996).
14. Welt, T. and R.J. Dimus, *Progress in Paper Recycling*, "Enzymatic Deinking: A Review," 4(2): 36 (1995).
15. Bajpai, P. and P.K. Bajpai, *TAPPI Journal*, "Deinking With Enzymes: A Review," 81(12):111 (1998).
16. Buchert, J., A.M. Ratto, and others, In: *Proceedings, 7th International Conference of Biotechnology*, "Enzymes for the Improvement of Paper Machine Runnability," CPPA, Montreal, Vol. A: 225 (1998).
17. Lascaris, E., L. Forbes, and G. Lonergan, In: *Proceedings, 1997 Biological Sciences Symposium*, "Drainage Improvement Using a Starch Degrading Enzyme Blend in a Recycling Paper Mill," TAPPI Press, Atlanta, p. 271.
18. Akhtar, M., G. Scott, M. Lentz, and others, In: *Proceedings, 7th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*, "Commercialization of Biopulping for Mechanical Pulping," CPPA, Montreal, vol. A: p. 55 (1998).

19. Farrell, R. and R. Allison, In: *Proceedings, 1997 TAPPI Biological Sciences Symposium*, "Effect of Cartapip 97 Pretreatment on Kraft Pulping of Radiata Pine," p. 15.
20. Mansfield, S. and J. Saddler, In: *Proceedings, 1997 Biological Sciences Symposium*, TAPPI Press, p. 279.
21. Knudsen, O., J.D. Young, and J.L. Yang, In: *Proceedings, 7th International Conference of Biotechnology*, "Long-Term Use of Enzymatic Deinking at Stora Dahm Plant," vol. A: 17 (1998).
22. Anne S. Moffat, *Science*, "Moving Forest Trees Into the Modern Genetics Era," 271(5250): 760 (1996).
23. Dean, J.F.D., P.R., K.-E. LaFayette, L. Eriksson, and S.A. Merkle, *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, "Forest Tree Biotechnology," vol. 57, Springer-Verlag, Berlin, p. 1 (1997).
24. Todd, D., J. Pait, and J. Hodges, In: *Proceedings, 23rd Southern Forest Tree Improvement Conference*, "Impact and Value of Tree Improvement in the South," Asheville, N.C. (June 1995) p. 7.
25. Kleiner, K., D. Ellis, B.H. McCown, and K. Raffa, *Environmental Entomology*, "Field Evaluation of Transgenic Poplar Against Tent Caterpillar and Gypsy Moth," 24(5): 1358 (1995).
26. Cyr, D., S. Binnie, and others, In: *Proceedings, 1997 Biological Symposium*, "From the Cradle to the Forest: Advances in Conifer Propagation," TAPPI Press, Atlanta, p. 199.
27. Eriksson, K.-E., P. LaFayette, S. Merkle, and J. Dean, In: *Proceedings, 6th International conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*, "Decreasing Lignin Content in Transgenic Trees Through Antisense Genetic Engineering," Facultas-Universitätsverlag, Vienna, p. 309 (1996).
28. Pullman, G.S., J. Cairney, and G. Peter, *TAPPI Journal*, "Clonal Forestry and Genetic Engineering," 81(2): 57 (1998).
29. Stomp, A.-M., K.-H. Han, S. Wilbert, and M.P. Gordon, *In Vitro Cell. Dev. Biol.*, "Genetic Improvement of Tree Species for Remediation of Hazardous Wastes," 29: 227-32 (1993).
30. Cunningham, S.D., W.R. Berti, and J. Huang, *Trends in Biotechnology*, "Phytoremediation of Contaminated Soils," vol. 13: 393-7 (1995).
31. McIntyre, T. and G. L. Lewis, *J. Soil Contamination*, "Advancement of Phytoremediation as an Innovative Environmental Technology for Stabilization, Remediation, or Restoration of Contaminated Sites in Canada," 6(3): 227 (1997).
32. Salt, D., M. Blaylock, N. Kumar, and others, *Bio/Technology*, "Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals From the Environment Using Plants," 13: 468 (1995).
33. Baker, A. and R. Brooks, *Biorecovery*, "Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements," 1:81 (1989).
34. Rugh, C.L., J.F. Senecoff, R. Meagher, and S. Merkle, *Nature Biotechnology*, "Development of Transgenic Yellow Poplar for Mercury Phytoremediation," 16: 925 (1998).
35. Rulkens, W.H., R. Tichy, and J.T.C. Grotenhuis, *Water Science Technology*, "Remediation of Polluted Soil and Sediment: Perspectives and Failures," 37 8): 27-35 (1998).
36. Anonymous, *The Hazardous Waste Consultant*, "Phytoremediation Gets to the Root of Soil Contamination," May/June pp. 1.22-1.28 (1996).
37. Cunningham, S. and W. Berti, *In Vitro Cell. Dev. Biol.*, 29:207 (1993).

38. Burken, J. and J. Schnoor, *Environmental Science and Technology*, "Uptake and Metabolism of Atrazine by Poplar Trees," 31(5): 1399 (1997).
39. Meilan, R., Han, K.-H., and others, *In: Proceedings, Biolog. Sciences*, "Development of Glyphosate-Resistant Hybrid Cottonwoods," 195-197 (1997).
40. Banuelos, G.S., H.A. Ajwa, and others, *J. Soil and Water Conservation*, "Phytoremediation of Selenium Laden Soils: A New Technology," 52(6): 246 (1997).
41. Sorge, M., *Automotive Industries*, "Toyota's Pollution Solution," 175(12): 40 (1995).

Variación y Mejoramiento Genético de Resistencia a Plagas y Enfermedades

G.R. Hodge

Curso Internacional de Genética y Biotecnología Forestal
26 marzo – 7 abril, 2006

A. Introduction

- 1) Resistance = ability of the tree to grow and survive despite exposure to some pest.
 - a) pathologist and physiologists often distinguish between resistance and tolerance
 - resistance = pest does not or cannot attack the plant
 - tolerance = pest attacks the plant but has little effect
- 2) Genetic Resistance to pest is the best long term solution
 - a) All forest species have (or in the case of exotics, will have) pests. Some are severe problems, others will be relatively unimportant.
 - b) Chemical treatment of plantation forest pests is almost always very expensive and of limited effectiveness.
 - c) Forest trees almost always have sufficient genetic diversity in the population to develop resistance.
 - forest trees are the most heterogeneous organisms on earth,
 - but some tragic exceptions to the rule have occurred,
 - Dutch Elm disease
 - chestnut blight
 - pitch canker on radiata?
- 3) Types of Resistance
 - a) Horizontal Resistance
 - Broad resistance to all races / varieties / genotypes of the pest.
 - b) Vertical Resistance
 - Specific resistance of a host genotype to specific pest genotype
 - Gene-for-gene
 - Single gene, e.g. resistance to white pine blister rust in sugar pine.
 - Multiple loci (single genes) can make resistance appear to be horizontal (quantitative) even if gene-for-gene mechanisms apply.

B. Case Study: Fusiform Rust on Southern Pines

- 1) Biology of *Cronartium quercuum* f. sp. *fusiforme*
 - a) endemic to southern US
 - co-evolution of pine species and pathogen
 - b) heteroecious pathogen (two hosts)
 - the alternate species is oak

- cannot infect pine to pine, must go through intermediate oak host
 - “sexual recombination” after infection of pine
 - c) Infection is affected by environmental conditions
 - basidiospores produced on the oak in wet humid weather of April-June can infect succulent tissues of pine
 - aeciospores produced on the pine in Feb-April can infect succulent tissues of the oak.
- 2) Impact of the Disease on Pines
- a) Trees of all ages are susceptible.
 - Infections on pines develop into branch or stem galls
 - no genetic difference in resistance at any age
 - branch or stem gall both indicate susceptibility – infection site is random
 - b) Infections anywhere on the tree from age 1 to 5 are likely to grow into the stem.
 - from economic point of view, stem galls are the most important.
 - Trees with stem galls will either have little economic value, or will die before harvest.
 - c) high levels on infection can lead to complete loss of the plantation
 - Annual economic loss is in the hundreds of million of dollars.
- 3) Control of the Disease
- a) Fungicide application to seedling in the nursery is effective.
 - b) Chemical application in plantations is not viable.
 - c) Silvicultural procedures to increase growth increase infection on pine.
 - more succulent tissue available for infection sites.
 - d) Control of the alternate host is not effective.
 - Elimination of oak host from 30 ha block actually increases infection on the pines.
 - removal of oaks decreased weed competition and increased water availability leading to substantial increase in growth.
- 4) Genetic Resistance to the Disease
- a) Original mass selection avoided infected trees, but also avoided stands with high levels of infection
 - Subsequent progeny testing revealed large differences in genetic resistance to the disease.
 - field tests are extremely variable in incidence of rust, ranging from 0 to 90% infection at age 5.
 - this variation among tests makes precision of different tests (and thus different families) for rust somewhat variable.
 - in general, h^2 for rust resistance is high ($h^2 \cong 0.20$ to 0.25), and there is no genotype x environment variation

- b) Artificial Screening for rust resistance works reasonably well.
 - USFS Resistance Screening Center at Bent Creek, North Carolina.
 - 12 week seedlings are inoculated under uniform greenhouse conditions. Results are reasonably well correlated with field resistance.
 - Also some correlation between monoterpene composition and rust resistance (high β -phellandrene associated with resistance).
- c) Selection of non-infected trees in highly infected stands is the simplest and most effective method to develop rust-resistant strains.
 - $\Delta G = h^2 S$, where h^2 = heritability and S = selection differential.
 - Stands of more than 90% infection were converted into Seed Production Areas by cutting all infected trees. Seed was collected and planted out with controls unimproved for rust-resistance.
 - Non-infected trees in stands with more than 80% infection (Rust-Free Selections) were grafted into seed orchards with other trees unimproved for rust-resistance.
- d) Compiling data over 46 genetic tests revealed that selected material has lower infection than controls in all cases – reduction in infection was approximately 2/3. For example, if the control had 90% infection, the selected material had 60% infection.
 - Some individual trees were very resistant, with progeny incurring near zero infection even in stands with high levels of infection.
- e) Zero incidence of the disease in the plantation is **not** the goal.
 - do not want to provide pressure for disease to become more virulent
 - want an array of genotypes with different genes for resistance
 - some mortality is acceptable as a “natural thinning”.

C. Case Study: Pitch Canker on Radiata / Patula Pines

- 1) Biology of *Fusarium circinatum*
 - a) endemic to southern US or Mexico
 - more resistance among US southern pines suggests co-evolution?
 - Complex life cycle, can infect pine to pine
 - b) Pathogen must be introduced into a wound
 - Generally introduced by insect vector into seedling or adult trees
 - Increasing problems in nurseries and field plantings of susceptible species – introduction into root systems?
- 2) Impact of the Disease on Pines
 - a) Trees of all ages are susceptible.
 - Infection can occur on all parts of the plant (needle and stem tissue, the main woody bole, roots, cones and seeds).
 - b) Trees and seedling respond by producing much resin (pitch) and canker formation.
 - Growth loss
 - Stem deformation
 - Wood quality reduction
 - Mortality

- 3) Control of the Disease
 - a) Fungicide application to seedling in the nursery is effective.
 - b) No viable treatment for plantation species.
 - Control of insect vectors could mitigate problems for plantations.
- 4) Genetic Resistance to the Disease
 - a) Genetic variation within populations of *P. taeda* and *P. elliottii*.
 - Natural infection in field trials
 - Artificial infection in field trials
 - Artificial infection in greenhouse trials.
 - b) Artificial Screening for pitch canker
 - USFS Resistance Screening Center at Bent Creek, North Carolina.
 - 12 week to 20 week seedlings are inoculated under uniform greenhouse conditions.
 - Wounding prior to inoculation.
 - c) Other Artificial Screening techniques.
 - Wounding by needles to simulate insect boring..
 - d) Species Differences in Genetic Resistance
 - Very Resistant: low elevation *P. tecunumanii*, *P. oocarpa*, *P. jaliscana*
 - Resistant: *P. maximinoi*, *P. taeda*, high-elevation *P. tecunumanii*
 - Susceptible: *P. elliottii*
 - Very Susceptible: *P. radiata*, *P. patula*
 - e) Within-Species differences in resistance
 - Provenance variation in *P. patula* and HE *P. tecunumanii*
 - Genetic variation in *P. patula* and *P. radiata*
 - Some family variation
 - Base level of resistance may limit ability to improve pure species
 - Hybridization?

D. Case Study: Chestnut Blight and Hybrid Breeding

1) Background

- a) American chestnut (*Castanea dentata*)
 - Dominant species along entire east coast of United States.
 - 5 billion trees
- b) Chestnut blight introduced from Asia to New York in 1900.
 - *Cryphonectria parasitica*
- c) Almost all American chestnuts dead by 1940.
 - Can still find sprouts in remote areas today
 - Sprouts generally die before or shortly after reaching reproductive age.
- d) Chinese chestnut (*Castanea mollissima*)
 - Small, slow growing, multiple stems
 - Resistant to the disease.

2) Hybrid Breeding

- a) Backcross breeding
 - Goal is to select against all Chinese characteristics except for disease resistance.
- b) 5th generation of breeding = 95% American, 5% Chinese
 - faster progress is possible with molecular markers to aid breeders.
- c) Modern biotechnology techniques are also being used today to create Genetically Modified Trees with resistance.

E. Other Examples of Disease Resistance and Breeding

- 1) Disease Resistance in *E. grandis*, *E. urophylla*, and hybrids
- 2) Dothistroma in *P. radiata*
- 3) Sphaeropsis (Diplodia) resistance in exotic *P. greggii* and *P. patula* in Brazil

MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS de MEDICIÓN de PROPIEDADES de la MADERA.

Carlos Gantz P., MSc.¹

1.- INTRODUCCIÓN.

Dado que la selección genética se hace sobre árboles que serán los potenciales padres de las siguientes generaciones de mejora, es indispensable contar con métodos no destructivos de evaluación de propiedades de la madera, que no maten los árboles selectos.

Por otra parte, uno de los factores que ha influido en la lenta incorporación de propiedades de la madera en programas de mejoramiento genético es el alto costo de medición de los atributos de la madera. Medir densidad básica, longitud de fibras, o características químicas como contenidos de lignina o celulosa en miles de árboles de una población de mejora es una tarea titánica y onerosa.

En la última década sin embargo, han emergido nuevas tecnologías de medición de atributos de madera que permiten reducir considerablemente el costo de medición de los mismos. Esto ha revitalizado el interés de genetistas forestales en atributos de la madera tradicionales como densidad básica y se ha extendido el interés en el estudio de la variación y genética de atributos que años atrás era muy difícil evaluar, como composición química de la madera, biometría de fibras, ángulo microfibrilar, resistencia mecánica de la madera, etc.

A continuación se describen brevemente algunas de estas nuevas metodologías y tecnologías (y otras que no son tan nuevas).

2.- INSTRUMENTOS para MEDICIÓN de PROPIEDADES FÍSICAS de la MADERA.

2.1. Equipos de uso en laboratorios.

2.1.1. Densitometría de rayos X.

La densitometría de rayos se ha empleado en los últimos 30 años. La técnica involucra la extracción de tarugos de incremento o alguna muestra similar desde los árboles, cortar en laboratorio los tarugos en probetas de 2 mm de espesor, escanear la probeta con rayos gamma o rayos X, grabar los registros en placas de rayos X o directamente en un PC y convertir los registros ópticos en valores de densidad básica (anhidra).

En la última década se han desarrollado equipos que permiten obtener la densidad básica con rayos X directamente desde tarugos intactos, sin necesidad de cortar la probeta de 2mm. De esta forma el proceso se acelera.

La densitometría de rayos X se ha usado para varios tipos de estudios como dendroclimatología, estudios de los efectos de tratamiento silviculturales y mejoramiento genético en la densidad de la madera, estudios de variación de densidad dentro del anillo de crecimiento (variabilidad genética de madera temprana y madera tardía), selección de árboles con baja diferencia entre

¹ Jefe Depto Calidad de Madera, Forestal Mininco S.A.
Avda. Alemania 751, Los Ángeles, Chile.
E-mail: carlos.gantz@forestal.cmpc.cl

madera temprana y tardía, estudios de correlaciones edad-edad de densidad básica, etc.

Si bien la precisión de las mediciones de densidad básica de la madera es muy alta, la principal desventaja de esta técnica es el tiempo requerido para analizar gran cantidad de muestras (aprox 100 muestras por semana), lo que la hace de alto costo.

2.1.2. Silviscan ^(MR).

Es un instrumento de laboratorio que fue diseñado para medir una serie de características de la microestructura de la madera, como diámetros de fibras, espesor de pared celular, perímetro de fibras, densidad, ángulo de microfibrillas, coarseness. Silviscan 1 fue desarrollado sólo para pino radiata, y luego fue desarrollado Silviscan 2, en el que también se pueden medir eucaliptos.

El equipo funciona mediante radiación de rayos X. En el Silviscan 2 se usa una fuente de rayos X más intensa y un detector de rayos X de alta resolución, en comparación a la primera versión del equipo.

Para medición de ángulo microfibrilar se usa difracción de los rayos X. La muestra de madera que se emplea es una banda de 1 mm de espesor obtenida desde tarugos de incrementos. Esto ha permitido reducir los tiempos de medición en comparación con Silviscan 1.

La gran ventaja de Silviscan 2 es la posibilidad de medir muchas características, siendo prácticamente la única alternativa (por el momento) de medición en forma relativamente operativa de una característica de la madera muy reevante para la industria del aserrío, como es el ángulo microfibrilar.

La gran desventaja es que existe sólo en Australia (CSIRO) y Suecia (construido por CSIRO) y el costo de medición por muestra y característica es alto.

2.2. Equipos portátiles.

2.2.1. Pilodyn.

Es un instrumento portátil usado para estimar densidad básica de la madera del árbol, midiendo la penetración de una pequeña aguja que es "disparada" en el fuste del árbol (un par de milímetros en la parte más externa del tronco) con una fuerza constante. La profundidad de penetración es inversamente proporcional a la densidad del árbol. Para realizar la medición se debe extraer la corteza y normalmente se realizar 3 a 4 mediciones para obtener una estimación más precisa de la densidad.

El pilodyn ha sido usado en varias especies para medir la densidad básica externa de familias en programas de mejoramiento genético, y de rodales en plantaciones comerciales.

Correlaciones entre pilodyn y densidad básica en un rango entre -0,3 y -0,9 han sido reportadas para diferentes especies, incluyendo pinos y eucaliptos.

La medición de pilodyn es una característica heredable ($h^2=0,3 - 0,4$), por lo que es posible usarlo como una medición indirecta de densidad básica de la madera en programas de mejora genética.

La gran ventaja del pilodyn es su portabilidad y relativa rapidez de medición. Su desventaja es que las mediciones de densidad no son muy

exactas (se recomienda para rankear familias más que para individuos), ni muy robustas (diferentes resultados en diferentes épocas del año, con diferentes cuadrillas de trabajo, etc) y requiere una concienzuda mantención y operación. Otro problema es que las mediciones son registradas manualmente.

2.2.2.- Resistógrafo ^(MR).

Es un instrumento que fue desarrollado con el objetivo de tener un aparato robusto, preciso y fácil de usar, para medir defectos internos de la madera. El método se basa en la medición de la resistencia a la perforación a lo largo de la huella que una aguja de 3 mm de diámetro que es insertada en la madera con una velocidad constante. El consumo de energía del taladro es registrado electrónicamente como un valor de resistencia a la perforación. Las mediciones son almacenadas automáticamente en un dispositivo de memoria del instrumento.

El equipo se ha usado para medir densidad básica en tableros de madera y en muestras de madera de diferentes especies forestales. Correlaciones entre mediciones de resistógrafo y densidad de madera medida con rayos X entre 0,25 y 0,90 se han obtenido para varias especies de coníferas y latifoliadas (eucaliptos).

La heredabilidad de mediciones de resistógrafo es alta ($h^2=0,3-0,6$) y la correlación genética entre estas mediciones y densidad básica es cercana a 1. De este modo, es posible usar este instrumento para rankear individuos en ensayos genéticos de acuerdo a su densidad básica.

La principales ventajas del resistógrafo son: su facilidad de operación, es portátil y de construcción sólida, se obtienen perfiles de densidad anillo por anillo y almacena datos en forma automática los que pueden ser traspasados a un PC para su análisis. No requiere procesar muestras. Es posible medir entre 150 y 200 árboles por día, dependiendo del diámetro de estos. No es necesario remover la corteza del árbol (como en el caso de pilodyn). Es robusto: se han obtenido resultados similares en diferentes especies y estructura familiares. Rankea con exactitud árboles individuales basado en densidad básica de la madera.

La desventaja del resistógrafo radica en que las estimaciones de densidad no son muy exactas.

2.2.3. Métodos acústicos.

Estos instrumentos se componen de dos probetas que se insertan a una distancia fija (aprox 1 m) en el fuste. Se mide el tiempo de tránsito del sonido de baja frecuencia a través del fuste entre las dos probetas, inducido por un golpe (martillo) en una de las probetas. La velocidad de la señal se relaciona con la rigidez (stiffness) de la madera. Combinada con la densidad básica puede ser utilizada para medir el módulo de elasticidad.

El instrumento se usa para medir resistencia mecánica en árboles en pie, pero también puede usarse para segregar trozas en patios de madera de aserraderos o fábricas de celulosa.

Correlaciones en un rango de 0,07 - 0,60 fueron determinadas entre las mediciones de la velocidad en el fuste y el MOE de tablas obtenidas de los mismos árboles de 9 y 25 años de *Eucalyptus dunnii* medidos en pie. La correlación entre velocidad medida en trozas y el MOE de las tablas obtenidas

de ellas fue de 0,37.- 0,65. En el caso de Pino radiata las correlaciones variaron entre 0,36 y 0,57.

La heredabilidad de stiffness medido como la velocidad de sonido, medido con uno de estos instrumentos (FAKKOP) en pino radiata fue de 0,30, indicando que se podrían usar para selección genética por stiffness.

3.- MEDICIÓN de PROPIEDADES QUÍMICAS de la MADERA.

3.3. Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR).

Una tecnología de gran desarrollo durante la última década dice relación con el uso de espectrofotómetros de infrarrojo cercano, para medir propiedades químicas de la madera, aunque se están desarrollando también métodos para determinar con esta tecnología características físicas como stiffness y ángulo microfibrilar.

La técnica consiste en leer bandas en el espectro del infrarrojo cercano causadas por vibraciones de los enlaces químicos de los compuestos que forman la madera. Cambios en las bandas reflejan cambios intrínsecos en la química de la madera. La región más importante dentro del espectro del infrarrojo cercano es aquel comprendido entre los 1200 y 2500 nm. El espectro de cada muestra de madera es extremadamente complejo, por lo que se usan métodos estadísticos multivariados para su análisis.

El uso de esta tecnología requiere calibrar el equipo NIR utilizando una muestra de madera a la que se le ha determinado las características a predecir en forma tradicional (por ejemplo, contenidos de lignina y celulosa usando análisis químicos de laboratorio, o rendimiento pulpable, usando digestores de laboratorio). Luego se escanea una pequeña muestra de madera (aprox. 4 grs) en el equipo y se obtienen los espectros. A través de métodos estadísticos como cuadrados mínimos parciales y componentes principales se correlaciona cierta porción del espectro con la o las características deseadas. Para validar el modelo de ajuste, se escanea otro grupo de muestras sobre el cual se predicen las características deseadas. Se determinan estadísticos como el error estándar de predicción para evaluar si la calibración es exitosa.

La gran ventaja de NIR es que una vez calibrado el equipo se pueden predecir con gran precisión características que son muy costosas de medir, como rendimiento pulpable, contenidos de lignina, contenidos de celulosa, ángulo de microfibrillas, etc. Esto cobra gran relevancia en programas de mejoramiento genético, donde es necesario medir por ejemplo, rendimiento pulpable a cientos de árboles. Además, es posible usar pequeñas muestras de madera obtenidas a partir de tarugos de incrementos.

Por otra parte, los equipos son costosos y es necesario ubicarlos en un laboratorio en condiciones ambientales controladas.

4.- MUESTREOS NO DESTRUCTIVOS de PROPIEDADES de la MADERA.

Los instrumentos descritos anteriormente son herramientas de apoyo en la medición de propiedades de la madera en forma no destructiva. Sin embargo, estos deben formar parte de un sistema de muestreo de que sea representativo de la población que se desea evaluar, sea familias genéticas, genotipos en particular o rodales comerciales.

Un sistema de muestreo no destructivo de propiedades de la madera debe considerar el desarrollo de respuestas a preguntas como las siguientes:

- Cómo varían las características de la madera a evaluar en el árbol: desde la base al ápice y desde la médula a la corteza.
- Estas variaciones son consistentes en diferentes sitios.
- Cuál es el mejor lugar para extraer las muestras de madera (relacionado a los puntos anteriores).
- Cómo es la correlación entre la medición de los atributos medidos en una muestra de madera (usualmente tarugos de incrementos) y los atributos del árbol completo.
- Cuántos árboles deben ser muestreados para estimar la media de la población con un nivel de precisión determinado.

Abordar en detalle estas preguntas escapan al objetivo de este documento, pero es importante tenerlos en mente. Para el lector interesado se incorporan varias referencias bibliográficas que incluyen este tipo de materias.

5.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Abdel-Gadir, A.; Krahmer, R.; McKimmy, M. 1993. Intra-ring variations in mature *Pseudotsuga menziesii* trees from provenance plantations. Wood and Fiber Science 25(2):170-181.
2. ASTM, American Society of Testing and Materials. 2000. Standard test methods for specific gravity of wood and wood based materials. D2395-83. Annual Book of ASTM Standards. Section Four: Construction. Volume 4.10 Wood. West Conshohocken, P.P., USA. 708 pp.
3. Banks, C. 1977. Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var. *caribaea* and var. *honduransis*. South African Forestry Journal 102. pp:1-5.
4. Bergsten, U.; Lindeberg, J.; Rindby, A. and Evans, R. 2001. Batch measurements of wood density on intact or prepared drill cores using x-ray microdensitometry. Wood Science and Technology 35: 435-452.
5. Blair, R.; Zobel, B. and Backer, J. 1975. Predictions of gain in pulp yield and tear strength in young *Pinus taeda* through genetic increases in wood density. Tappi 58(1):89-91.
6. Borralho, N.; Cotteril, P. and Kanowski, P. 1992. Genetic parameters and gains expected from selection for dry weight in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* in Portugal. Forest Science 38(1): 80-84.
7. Burdon, R.; Low, C. 1992. Genetic survey of *Pinus radiata*. 6: Variation, heritabilities, and interrelationships with other traits. New Zealand Journal of Forestry Science 22(2/3):228-245.
8. Burdon, R.; Kibblewhite, R. and Riddel, M. 1999. Wood density and Kraft fiber and pulp properties of four *Pinus radiata* provenances. New Zealand Journal of Forestry Science 29(2):214-224.
9. Chambers, P. and Borralho, N. 1997. Impact of wood selection traits on a thermo-mechanical pulping system using *Pinus radiata* to produce newsprint.

10. Chantre, G.; Rozenberg, P. 1997. Can drill resistance profiles (Resistograph) lead to within-profile and within-ring density parameters in Douglas fir wood? Timber Management Toward Wood Quality and End-Product Values. CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop, pp 41-47.
11. Clark, N. 2001. Longitudinal density variation in irrigated hardwoods. *Appita Journal* 54(1): 49-53.
12. Cown, D.; Clement, B. 1983. A wood densitometer using direct scanning with x-rays. *Wood Science and Technology* 17: 91-99.
13. Cown, D.; Young, G.; Burdon, R. 1992. Variation in wood characteristics of 25-year-old half-sib families of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 22(1): 63-76.
14. Cown, D.; McConchie, M. and McConchie, D. 1999. Developments in Pilodyn assessments of tree stems and logs. Proceedings of the Eleventh International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Madison, Wisconsin, USA, September 9-11, 1998. pp: 117-122.
15. Dean, G. 1995. Objectives for wood fiber quality and uniformity. Proceedings CRC-IUFRO Conf. Hobart, Australia, 19-24 February 1995. 6 pp.
16. Downes, G.; Hudson, I.; Raymond, C.; Dean, G.; Michell, A.; Schmileck, L.; Evans, R.; Muneri, A. 1997. Sampling plantation eucalyptus for wood and fiber properties. CSIRO, Australia. 132 pp.
17. Evans, R.; Stringer, S.; Kibblewhite, P. 2000. Variation of microfibril angle, density and fiber orientation in twenty-nine *Eucalyptus nitens* trees. *Appita Journal* 53(5): 450-457.
18. Foelkel, C. 1997. Eucalyptus wood quality to comply with the pulp and paper market requirement. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts. Salvador, Brazil, 24-29 August 1997. pp: 15-22.
19. Gea, L.; McConchie, R. and Borralho, N. 1997. Genetic parameters for growth and wood density traits in *Eucalyptus nitens* in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 27(3): 237-244.
20. Greaves, B.; Borralho, N.; Raymond, C.; Evans, R.; Whiteman, Ph. 1997. Age-age correlation in, and relationships between basic density and growth in *Eucalyptus nitens*. *Silvae Genetica* 46(5): 264-270.
21. Harding, K.; Kanowski, P. and Woolaston, R. 1991. Preliminary genetic parameter estimates for wood quality traits of *Pinus caribaea* v. *hondurensis* in Queensland, Australia. *Silvae Genetica* 40: 152-156.
22. Hardner, C. and Tibbits, W. 1996. Wood density in *Eucalyptus nitens* in under strong genetic control but inbreeding depression is absent. In: Dieters, M.J., Matheson, A.C., Nikles, D.G., Hardwood, C.E. and Walker, S.M. (eds.). *Tree*

23. Haygreen, J. and Bowyer, J. 1996. Forest products and wood science. Third edition. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 484 pp.
24. Helms, D.; Niemz, P. 1994. New applications of the drill resistance method for quality evaluation of wood and wood products. In: Proceedings of the 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Madison, Wisconsin, USA. September 22-24, 1993. pp: 95-102.
25. Hillis, W.; Brown, A. 1984. Eucalyptus for wood production. CSIRO/Academic Press. Australia. 434 pp.
26. Jayawickrama, K. 2001. Genetic parameter estimates for *Pinus radiata* in New Zealand and New South Wales: A synthesis of results. *Silvae Genetica* 50(2): 45-53.
27. Kibblewhite, R.; Shelbourne, T. 1997. Genetic selection of trees with designer fibers for different paper and pulp grades. In: The fundamentals of papermaking materials. Transactions of the 11th fundamental research symposium held in Cambridge: September 1997. V1. pp: 439-471.
28. Kibblewhite, R. 1999. Designer fibers for improved papers through exploiting genetic variation in wood microstructure. *Appita Journal* 52(6):429-435.
29. Kibblewhite, R. and Riddell, M. 2000. Wood Kraft fiber property variation within and among trees of *Eucalyptus nitens*. *Appita Journal* 53(3):237-244.
30. King, J. and Burdon, R. 1991. Time trends in inheritance and projected efficiencies of early selection in a large 17-year-old progeny test of *Pinus radiata*. *Canadian Journal of Forestry Science* 21: 1200-1207.
31. Lowe, W.; Byram, T. and Bridgewater, F. 1998. Selecting *Pinus taeda* parents for seed orchards to minimize the cost of producing pulp. *Forest Science* 45(2): 213-216.
32. MacDonld, A.; Borralho, N. and Potts, B. 1997. Genetic variation for growth traits and wood density in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* in Tasmania. *Silvae Genetica* 46(4):236-241.
33. Malan, F. 1993. The wood properties and qualities of three south African-grown eucalypt hybrids. *South African Forestry Journal* 167: 35-44.
34. Matheson, A.; Spencer, J.; Nyakuengama, J. 1997. Breeding for wood properties in *Pinus radiata*. Proceedings IUFRO '97: Genetics of *Pinus radiata*. Rotorua, New Zealand, 1-4 December 1997. pp: 169-179.
35. Megraw, R.; Bremer, G.; Leaf, G.; Roers, J. 1999. Stiffness in *Pinus taeda* as a function of ring position and height, and its relationship to microfibril angle and specific gravity. In: Proceedings of the Third Workshop – Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches. IUFRO working party S5.01-04. La Londe-Les-Maures, France. Sept. 5-12, 1999. pp 324-349.

36. Miranda, I.; Almeida, M. and Pereira, H. 2001. Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. *Forest Ecology and Management* 149(1-3):235-240.
37. Moschler, W. and Winistorfer, P. 1990. Direct scanning densitometry: an effect of sample heterogeneity and aperture area. *Wood Fiber and Science* 22(1): 31-38.
38. Muneri, A.; Raymond, C. 2000. Genetic parameters and genotype-by-environment interactions for basic density, Pilodyn penetration and stem diameter in *Eucalyptus globulus*. *Forest Genetics* 7(4): 317-328.
39. NCSU-Industry Cooperative Tree Improvement Program. 2002. An efficient method for large-scale screening of wood density in progeny tests. In: 46th Annual Report. North Carolina State University-Industry Cooperative Tree Improvement Program. Department of Forestry, College of Natural Resources, North Carolina State University. Raleigh, N.C. USA. pp: 10-13.
40. Nyakuengama, J.; Matheson, C.; Evans, R.; Spencer, D. and Vinden, P. 1997. Wood quality and quantitative genetics of *Pinus radiata*. Fiber traits and wood density. Proceedings IUFRO '97: Genetics of *Pinus radiata*. Rotorua, New Zealand, 1-4 December 1997. pp: 142-146.
41. Nyakuengama, J.; Matheson, C.; Evans, R.; Spencer, D. and Vinden, P. 1999. Effect of age on genetic control of *Pinus radiata* earlywood and latewood properties. *Appita Journal* 53(2):103-107.
42. Polge, H. 1978. Fifteen Years of Wood Radiation Densitometry. *Wood Sci. Technol.* 12:187-196.
43. Prado, J.A.; Barros, S. 1989. *Eucalyptus: principios de silvicultura y manejo*. Instituto Forestal, Division de Silvicultura. CORFO, Gerencia de Desarrollo, AF - 89/06. Santiago, Chile. 199 pp.
44. Rinn, F.; Schweingruber, H.; Schar, E. 1996. Resistograph and X-Ray Density Charts of Wood Comparative Evaluation on Drill Resistance Profiles and X-Ray Density Charts of Different Wood Species. *Holzforschung* 50 (4):303-311.
45. Raymond, C. and MacDonald, A. 1998. Where to shoot your Pilodyn: within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in Tasmania. *New Forests* 15: 205-221.
46. Raymond, C.; Schimleck, L.; Muneri, A.; Michell, A. 2001. Genetic parameters and genotype-by-environment interaction for pulp yield predicted using near infrared reflectance analysis and pulp productivity in *Eucalyptus globulus*. *Forest Genetics* 8(3): 213-224.
47. Ridoutt, B.; Sorensen, Ch.; Lausberg, M. 1998. Wood properties of twenty high ranked radiata pine seed production parents selected for growth and form. *Wood Fiber Science* 30(2): 128-137.
48. Rozenberg, Ph.; Cahalan, Ch. 1997. Spruce and wood quality: genetic aspects (a review). *Silvae Genetica* 45(5): 270-279.

49. Rozenberg, Ph.; Franc, A.; Cahalan, Ch. 2001. Incorporating wood density in breeding programs for softwood in Europe: a strategy and associated methods. *Silvae Genetica* 50 (1): 1-7.
50. SAS Institute Inc. 1989. SAS/SATAT user's guide. 4th ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA.
51. Shelbourne, T.; Apolaza, L.; Jayawickrama, K.; Sorenson, C. 1997. Developing breeding objectives for *Pinus radiata* in New Zealand. Proceedings IUFRO '97: Genetics of *Pinus radiata*. Rotorua, New Zealand, 1-4 December 1997. pp: 160-168.
52. Shelbourne, T.; Evans, R.; Kibblewhite, P. and Low, Ch. 1997b. Inheritance of tracheid transverse dimensions and wood density in *Pinus radiata*. *Appita Journal* 50(1): 47-50.
53. Sirviö, J. and Kärenlampi, P. 2001. The effects of maturity and growth rate on the properties of spruce wood tracheids. *Wood Science and Technology* 35: 541-554.
54. Smook, G. 1997. Handbook for pulp and paper technologists. Second edition. Angus Wilde Publications. Vancouver, B.C., Canada. 419 pp.
55. Tian, X.; Cown, D.; McConchie, D. 1995. Modelling of *Pinus radiata* wood properties. Part 2: Basic density. *New Zealand Journal of Forestry Science* 25(2): 214-230.
56. Tibbits, W.; Dean, G.; French, J. 1990. Wood evaluation and estimation of genetic parameters for 8 year-old *Eucalyptus globulus*. In: 44th Appita Annual General Conference. Rotorua, New Zealand, 2-6 April, 1990. 16 pp.
57. Tibbits, W.; Hodge, G. 1998. Genetic parameters and breeding value predictions for *Eucalyptus nitens* wood fiber production tests. *Forest Science* 44(4): 587-598.
58. Valente, C.; de Sousa, M.; Furtado, F. and Carvalho, A. 1992. Improvement program for *Eucalyptus globulus* at Portucell: technological component. *Appita* 45 (6): 403-407.
59. Wang, T.; Aitken, S.; Rozenberg, P. and Carlson, M. 1999. Selection for height and Pilodyn pin penetration in lodgepole pine: effects on growth traits, wood properties, and their relationships. *Canadian Journal of Forestry Science* 29: 434-445.
60. Wei, X. and Borralho, N. 1997. Genetic control of wood density and bark thickness and their relationships with growth traits of *Eucalyptus urophylla* in South East China. *Silvae Genetica* 46(4):245-249.
61. Winistorfer, P.; Xu, W.; Wimmer, R. 1995. Application of a drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels. *Forest Products Journal* 45(6):90-94.
62. Yasue, K.; Funanda, R.; Kobayashi, O. and Ohtani, J. 2000. The effects of tracheid dimensions on variations in maximum density of *Picea glehnii* and relationships to climatic factors. *Trees* 14: 223-229.

63. Zamudio, F.; Rozenberg, Ph.; Baetig, R.; Vergara, A.; Yañez, M.; Gantz, C. 2005. Genetic variation of wood density components in a radiata pine progeny test located in the south of Chile. *Ann. For. Sci.* 62(2005):105-114.
64. Zobel, B. and Talbert, J. 1984. *Applied forest tree improvement*. Wiley, New York, USA. 511 pp.
65. Zobel, B. and van Buijtenen, J. 1989. *Wood variation, its causes and control*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 363 pp.
66. Zobel, B. and Jett, J.B. 1995. *Genetics of Wood Production*. Springer-Verlag, 336 pp.

VARIACIÓN y MEJORA GENÉTICA de PROPIEDADES de la MADERA.

Carlos Gantz P., MSc.¹

1.- INTRODUCCIÓN.

Diversos programas de mejora genética forestal han sido muy exitosos en incrementar la productividad, rectitud de fustes y sanidad de las plantaciones de las especies de interés comercial. Sin embargo, son pocos los programas que han incorporado características de la madera dentro de los objetivos de mejora, especialmente en las coníferas. En el caso de los eucaliptos en cambio, es más común ver programas para mejorar la densidad básica y/o el rendimiento pulpable, debido a que las plantaciones de eucaliptos tienen un solo objetivo: producción de pulpa y son de rotaciones cortas. Sin embargo, en la última década se ha incrementado el interés por incorporar las características de la madera en la mayoría de los programas de mejora genética en el mundo.

Para incorporar cualquier característica a un programa de mejora genética debe conocerse la variación que esta presenta, el control genético (heredabilidad), y su importancia económica. Además se deberá conocer la relación genética con otras características a mejorar, como crecimiento. En el presente documento se tratan brevemente estos tópicos, referidos fundamentalmente a una de las características de la madera más relevantes y estudiada, como es la densidad básica. Sin embargo, se incorporan también otras características de interés.

2.- VARIACIÓN DE PROPIEDADES DE MADERA.

Además de las diferencias entre coníferas y latifoliadas, las características de la madera pueden variar fuertemente según la zona geográfica donde se desarrollen los árboles, con las características del sitio dentro de una zona geográfica, entre árboles dentro de una misma especie y dentro de un mismo árbol.

2.1. Variación entre sitios.

La madera es el resultado de varios procesos de crecimiento. Por lo tanto, cualquier factor que afecte el crecimiento puede afectar las características de la madera. Zonas geográficas con condiciones de suelo y clima diferentes pueden afectar fuertemente las propiedades de la madera.

Para pino taeda en el sureste de los EUA se ha demostrado que la densidad básica de la madera disminuye desde el sur hacia el norte y desde la costa hacia el interior del rango de distribución de la especie. La longitud de fibras por su parte, es menor en el norte.

En Nueva Zelandia, por su parte, la densidad básica de la madera de pino radiata varía regionalmente, siendo mayor en zonas de mayor temperatura media anual. Diferencias en densidad de madera madura de hasta 70 kg/m³ se registran entre zonas geográficas. La longitud de fibras mostró el mismo patrón de variación que densidad básica.

Para eucalipto globulus creciendo en Chile, se encontró mayor densidad básica de la madera en árboles creciendo en Arauco (centro sur del país) en

¹ Jefe Depto Calidad de Madera, Forestal Mininco S.A.
Avda. Alemania 751, Los Ángeles, Chile.
E-mail: carlos.gantz@forestal.cmpc.cl

comparación con árboles de la misma edad creciendo en Valdivia (sur de Chile). La diferencia fue de aproximadamente 40 kg/m^3 . El coarseness fue también mayor en Arauco en comparación con Valdivia.

La variación de atributos de la madera entre sitios dentro de zonas geográficas es en general de menor magnitud que las diferencias entre zonas geográficas, pero pueden ser relevantes y deben ser consideradas. Por ejemplo, diferencias promedio en densidad básica de 15 kg/m^3 fueron determinadas para 30 familias de pino radiata de 10 años de edad, creciendo en dos tipos de suelos en la zona centro sur de Chile.

El conocimiento de estas variaciones de las características de la madera es de gran importancia, ya que la madera de una determinada área geográfica y/o sitio, puede producir un determinado producto en mejor forma que la madera proveniente desde otra región. Por otra parte, las fábricas de celulosa o aserraderos pueden manejar de antemano la mezcla de maderas más adecuadas para hacer más eficiente un proceso, o para satisfacer la demanda por un producto determinado.

2.2. Variación entre árboles de una especie.

La variación de la mayoría de las características de la madera entre árboles individuales es grande. Esta variación tiene relevancia desde varios puntos de vista. Por una parte, los forestales necesitan conocerla para efectos de evaluación de recursos y diseño de muestreos (determinación de número mínimo de árboles para representar el promedio de un rodal). Por otra parte, los genetistas forestales se valen de ella como base para la selección de genotipos superiores con características deseadas.

2.3. Variación dentro del árbol.

En las coníferas, la densidad de la madera aumenta desde la médula (centro del fuste) hacia la corteza y disminuye desde la base a la punta del fuste. En el caso de las latifoliadas y en particular los eucaliptos, la densidad de la madera aumenta desde la médula hacia la corteza, y desde la base al ápice del fuste.

Estas variaciones pueden ser fuertes. Para pino radiata en Chile la densidad básica a la altura del Dap (1,3 mts) puede llegar a ser 40 kg/m^3 mayor que a la altura comercial, mientras que para pino taeda en el noreste de Argentina, diferencias de más de 100 kg/m^3 se detectaron entre rangos de edad (anillos de crecimiento) 6-10 años versus 21-25 años.

En el caso del eucalipto nitens en Chile, la madera a la altura comercial puede tener una densidad 50 ó 60 kg/m^3 mayor que la madera a la altura del Dap. En esta especie el efecto de la edad o variación en sentido radial (médula a corteza) también es importante.

Por lo tanto, madera obtenida desde las trozas superiores puede dar como resultado productos totalmente diferentes que las trozas basales de un mismo árbol. En el caso de coníferas, por ejemplo, las primeras presentan ventajas para producción de pulpa mecánica, mientras que las últimas son más adecuadas para pulpas químicas.

La madera cercana a la médula del árbol y hasta aproximadamente (depende de la especie) 6 a 10 anillos de crecimiento, y que se extiende como un cilindro, desde la base al ápice del árbol, se denomina comúnmente **madera juvenil**. Por lo general, presenta baja densidad básica, fibras cortas, de bajo

coarseness, alto contenido de lignina y ángulos de microfibrillas amplios, por lo que se considera de baja calidad para fines pulpables (bajo rendimiento pulvable) como aserrables (baja resistencia mecánica).

Dado que el mejoramiento genético y la silvicultura intensiva han aumentado la tasa de crecimiento y por tanto se ha reducido la edad de rotación, la proporción de madera juvenil en el árbol, aumentará significativamente. Esto ha hecho que haya un gran interés por mejorar la calidad de la madera juvenil.

3.- MEJORA GENÉTICA de PROPIEDADES de la MADERA.

3.1. Variación genética de propiedades de la madera.

La mayoría de las características de la madera presenta alta variación entre procedencias, familias dentro de procedencias y entre árboles.

Para pino radiata creciendo en Chile, se encontró diferencias de significativas de hasta 18 kg/m^3 en densidad básica de la madera entre material de procedencias naturales de la especie. Diferencias similares se encontraron entre procedencias de eucalipto nitens en ensayos de procedencias y progenies.

En el caso de pino taeda en el sureste de los EUA, se encontraron diferencias de 15 kg/m^3 entre 4 procedencias de la especie.

Más importantes que las diferencias entre procedencias son las variaciones entre familias genéticas y entre individuos dentro de familias, las que con facilidad pueden llegar a valores de 100 kg/m^3 , tanto en coníferas como en latifoliadas.

3.2. Control genético (heredabilidad) de características de la madera.

El control genético de la mayoría de las características de la madera es fuerte, con valores de heredabilidad en sentido estricto alrededor de 0,5.

Para **densidad básica** de la madera, se reportan heredabilidades entre 0,3 y 0,72 para pino radiata, entre 0,20 y 0,87 para pino taeda; entre 0,36 y 0,69 para pino elliottii; y de 0,62 para pino caribaea var hondurensis.

Para **longitud de fibras**, heredabilidades de 0,87 se han reportado en pino radiata y 0,44 en pino taeda.

Otras características de las fibras como **coarseness** y **espesor de pared celular** tuvieron heredabilidades de 0,82 y 0,66 en pino radiata.

La heredabilidad de propiedades químicas de la madera ha sido menos estudiada, debido al alto costo de medición. En pino elliotti, se determinó una heredabilidad de 0,64 para **rendimiento pulvable**.

En el caso de eucaliptos, se han reportado heredabilidades (promedio de varias publicaciones, según Raymond y Apiolaza, 2004) de 0,70 y 0,6 para **densidad básica**; 0,45 y 0,40 para **rendimiento pulvable**; 0,30 y 0,50 para **longitud de fibras** en eucalipto globulus y eucalipto nitens, respectivamente.

Para eucalipto urophylla de 4 a 7 años de edad creciendo en China, la heredabilidad de **densidad básica** de la madera fue de 0,71.

Una heredabilidad para **longitud de fibras** de 0,54 para eucalipto grandis creciendo en Sudáfrica.

En las latifoliadas, los vasos tienen importancia en la calidad de la madera, ya que estos contribuyen poco al rendimiento del pulpaje y a la resistencia del papel, pero si producen problemas de impresión. En Sudáfrica se determinó una heredabilidad 0,62 para el **diámetro de vasos** en eucalipto grandis.

Las heredabilidades mencionadas anteriormente son en sentido estricto. La heredabilidad en sentido amplio (H^2) de la mayoría de las características de la madera antes mencionadas es aun mayor. Lo anterior indica que se pueden obtener buenos resultados en el mejoramiento de atributos de madera, pero que ganancias mayores se pueden obtener usando silvicultura clonal.

3.3. Correlación entre propiedades de la madera y entre estas y el crecimiento.

En un programa de selección genética de propiedades de la madera es necesario saber cómo se afectan otras características al modificar la característica deseada. Por ejemplo, si se aumenta la densidad básica de la madera, cómo se afectarán las propiedades del papel? Qué pasará con crecimiento diamétrico? Esto se determina a través de la estimación de correlaciones genéticas.

Al parecer la correlación gética entre la mayoría de las propiedades de la madera presenta correlaciones bajas o son independientes. Sin embargo algunas de ellas rompen la regla. A modo de ejemplo, a continuación se presentan resultados de algunas correlaciones fenotípicas y genética entre propiedades de la madera, reportados en diversas fuentes bibliográficas. La mayoría de ellas se refiere a la relación de densidad básica con otras características.

Densidad básica de la madera presenta correlaciones fenotípicas moderadas positivas, con longitud de fibras, espesor de pared celular y coarseness. Por tanto, pulpas producidas a partir de maderas más densas presentan mayor bulk, menor resistencia a tensión y explosión, de mayor opacidad.

Por otra parte, densidad básica presenta correlaciones fenotípicas positivas pero moderadas, con la resistencia mecánica de la madera (MOE).

También se han estimado correlaciones genéticas positivas con rendimiento pulpable en eucaliptos y correlaciones genéticas positivas altas con MOE en pinos.

En el caso de pino radiata, densidad básica presenta correlaciones genética positivas, pero moderadas con coarseness, en tanto que presenta correlaciones genéticas positivas muy altas con espesor de pared celular. Por el contrario, presenta correlaciones genética negativas con el diámetro tangencial y radial de las fibras.

3.4. Importancia económica de atributos de madera.

Teniendo presente la alta heredabilidad de muchos atributos de la madera y que por tanto es posible obtener buenas ganancias usando selección genética, el siguiente punto a resolver es **qué característica mejorar**, la que estará definida en gran medida por su relevancia económica. La relevancia económica estará definida a su vez por los **objetivos económicos** de la empresa (core bussiness, tipos de productos, etc.), presencia o no de

integración vertical, etc. Por otra parte, la situación se torna más compleja cuando las rotaciones son largas, debido a la **incertidumbre** respecto a qué **atributos de madera** serán **demandados** en el **futuro**, y cuando se obtienen múltiples productos desde el bosque.

Por lo general, los **atributos de la madera se han incorporado como un objetivo secundario en el mejoramiento genético**, luego de mejorar crecimiento volumétrico y rectitud de fustes. Esto es especialmente válido en las coníferas, desde cuyos bosques se obtiene gran cantidad de productos. En el caso de los eucaliptos, que normalmente se manejan en rotaciones muy cortas, para producción de pulpa, atributos de madera como densidad básica o el rendimiento pulpable pueden ser variables elegidas por los genetistas forestales. Normalmente en este caso, la decisión de qué característica mejorar se toma en conjunto con los especialistas de las fábricas de celulosa.

Tal es el caso del programa de mejoramiento genético y de propagación clonal de eucalipto globulus en CMPC (Chile), en el que el objetivo principal es mejorar la productividad y calidad de la pulpa desde las plantaciones. Las características de selección son volumen, densidad básica y rendimiento pulpable, las que se combinan en un **índice de selección**, con sus correspondientes pesos económicos. Respecto a los pesos económicos, estos normalmente son mayores para densidad básica de madera que para volumen, cuando el objetivo es maximizar la rentabilidad del negocio pulpable.

En la mayoría de los programas de mejoramiento genético que han incorporado calidad de madera, la **densidad básica** es el atributo a mejorar elegido. Esto debido en gran medida a que esta se correlaciona razonablemente bien con la productividad del proceso de pulpaje y con la calidad de pulpa y la resistencia mecánica de la madera aserrada. Además, es una característica relativamente fácil y no muy costosa de medir.

Sin embargo, nuevas técnicas de muestreo no destructivas de atributos de la madera han aparecido en la última década, lo que ha renovado el interés de estudiar la genética de características de difícil medición como rendimiento pulpable, características químicas de la madera (contenidos de celulosa, lignina, relación S/G) y propiedades de las fibras (longitud, coarseness).

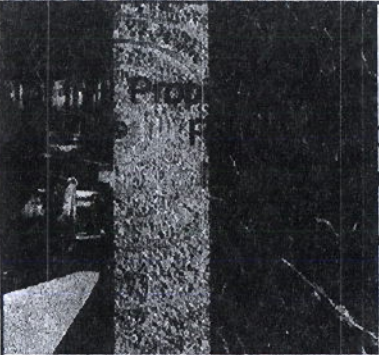
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE APOYO.

- Allen, P.J. 1985. Estimation of genetic parameters for wood properties in slash pine in southeast Queensland. Res. Note 41. Dept of For, Queensland Australia. 15p.
- Belonger, P.; McKeand, S. and J.B. Jett. 1996. Genetic and environmental effects on biomass production and wood density in Loblolly pine. In: Dieters, M.J., Matheson, A.C., Nikles, D.G., Hardwood, C.E. and Walker, S.M. (eds.). Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry. Proc. QFRI-IUFRO Conf., Caloundra, Queensland, Australia. 27 October - 1 November, 1996.
- Belonger, P. 1998. Variation in selected juvenile wood properties in four southern provenances of loblolly pine. MSc. Thesis. Department of Forestry, North Carolina State University. Raleigh, USA. 174 pp.
- Blair, RL, Zobel, BJ, Franklin EC, Djerf, AC, Mendel, JM. 1974. The effect of tree form and rust infection on wood and pulp properties of loblolly pine. *Tappi* 57:46-50.
- Bridgwater, FE, Talbert, JT, Jahromi, S. 1983. Index selection for increased dry weight in a young loblolly pine population. *Silvae Genetica* 32:157-161.

- Clark, A. and Saucier, JR. 1989. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile wood formation in southern pine. *For Prod J.* 39:42-48.
- Costa e Silva, JC, Borralho, NMG, Wellendorf, H. 2000. Genetic parameter estimates for diameter growth, pilodyn penetration, and spiral grain in *Picea abies* (L.) Karst. *Silvae Genetica* 49:29-36.
- Burdon, RD & Young, GD. 1991. Preliminary genetic parameter estimates for wood properties from top-ranked *Pinus radiata* progenies and comparisons with control. Proc 11th Meeting Represen Res Work Grp No. 1. Aust. For Counc, Coonawara, South Australia 137-140.
- Burdon, R.; Kibblewhite, R. and Riddel, M. 1999. Wood density and Kraft fiber and pulp properties of four *Pinus radiata* provenances. *New Zealand Journal of Forestry Science* 29(2):214-224.
- Dvorak, W.; Gutierrez, E.; Hodge, G.; Romero, J.L.; Stock, J.; Rivas, O. 2000. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. In: Conservation & Testing of Tropical and Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA. pp: 13-33.
- Einspahr, DW, Goddard RE, Gardner, HS. 1964. Slash pine wood and fiber property heritability study. *Silvae Genetica* 13:103-109.
- Gantz, C. 2002. Evaluating the Efficiency of the Resistograph to Estimate Genetic Parameters for Wood Density in Two Softwood and Two Hardwood Species. Master of Science Thesis. North Carolina State University. Raleigh, NC., USA. 78p.
- Goggans JF. 1964. Correlation and heritability of certain wood properties in loblolly pine (*P. taeda*). *TAPPI* 47: 318-322.
- Goggans JF. 1962. The correlation, variation and inheritance of wood properties in loblolly pine. Tech Rep 14, School of Forest Resources, NC State Univ., Raleigh, NC. 155pp.
- Goodwin-Bailey CI. 1989. Relationship between the anatomical and end use properties of the wood of selected tropical pines. ODA Project R3882 Report.
- Gwaze, DP, Bridgwater, FE, Byram, TD, Lowe, WJ. 2001. Genetic parameter estimates for growth and wood density in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) *For Gen* 8:47-55.
- Harding, KJ, Kanowski, PJ, Woolaston, RR. 1991. Preliminary genetic parameter estimates for some wood quality traits of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in Queensland, Australia. *Silvae Genetica* 40: 152-156.
- Hardner, C. and Tibbits, W. 1996. Wood density in *Eucalyptus nitens* in under strong genetic control but inbreeding depression is absent. In: Dieters, M.J., Matheson, A.C., Nikles, D.G., Hardwood, C.E. and Walker, S.M. (eds.). Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry. Proc. QFRI-IUFRO Conf., Caloundra, Queensland, Australia. 27 October – 1 November, 1996. 193-194.
- Haygreen, J. and Bowyer, J. 1996. Forest products and wood science. Third edition. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 484 pp.
- Hodge, GR, and RC Purnell. 1993. Genetic parameter estimates for wood density, transition age and radial growth in slash pine. *Can. J. Forest Res.* 23:1881-1891.
- Jackson, LW. 1964. Fibril angle variation in open- and control-pollinated progeny of slash and loblolly pines. *Bulletin Georgia Acad Sci* 22. 4 p.
- Jayawickrama, KJS, McKeand, SE, Jett, JB, Wheeler, EA. 1997. Date of earlywood-latewood transition in provenances and families of loblolly pine, and its relationship to growth phenology and juvenile wood specific gravity. *CJFR* 27:1245-1253.
- Jayawickrama, K. 2001. Genetic parameter estimates for *Pinus radiata* in New Zealand and New South Wales: A synthesis of results. *Silvae Genetica* 50(2): 45-53.
- Jett, JB, and Talbert JT. 1982. Place of wood specific gravity in the development of advanced generation seed orchards and breeding programs. *SJAF* 6:177-180.
- Jett, JB, Weir, RJ, Barker, JA. 1977. The inheritance of cellulose in loblolly pine. *Tappi For Biol Comm Mtg*, Madison WI. 4 p.

- Jett, JB, McKeand, SE, Weir, RJ. 1991. Stability of juvenile wood specific gravity of loblolly pine in diverse geographic areas. *CJFR* 21:1080-1085.
- Keller, R. 1973. Caractéristiques du bois de Pin maritime. Variabilité et transmission héréditaire. *Ann Sci For* 30: 31-62.
- Kellog RM & Thykeson E. 1975. Influence of wood and fiber properties on kraft converting-paper quality. *TAPPI* 58: 131-135.
- Kibblewhite, R. 1999. Designer fibres for improved papers through exploiting genetic variation in wood microstructure. *Appita Journal* 52(6):429-435.
- Kibblewhite RP & Lloyd JA. 1983. Interrelations between the wood, fibre and kraft properties of new crop radiata pine thinnings. *NZ FRI Bulletin No. 44*. 19p
- Loo, JA, Tauer, CG, McNew, RW. 1985. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Silvae Genetica* 34: 14-19.
- Loo JA, Tauer CG, van Buijtenen JP. 1984. Juvenile mature relationships and heritability estimates of several traits in loblolly pine (*Pinus taeda*) *CJFR* 14:822-825.
- Lowe, WJ, Byram, T, and Bridgwater, FE. 1999. Selecting loblolly pine parents for seed orchards to minimize the cost of producing pulp. *For Sci* 45:213-216.
- McKinley, CR, Lowe, WJ, van Buijtenen, JP. 1982. Genetic improvement of wood specific gravity in loblolly pine (*P. taeda*) and its relation to other traits. *Tappi R&D Division Conference Asheville, NC* p 153-158.
- McMillin, CW. 1973. Fibril angle of loblolly pine wood as related to specific gravity, growth rate and distance from the pith. *Wood Sci Tech.* 7: 251-255.
- Nicholls, JW, Morris, JD, Pedrick, LA. 1980. Heritability estimates of density characteristics in juvenile radiata wood. *Silvae Genetica* 29: 54-61.
- Nyakuengama, J.; Matheson, C.; Evans, R.; Spencer, D. and Vinden, P. 1999. Effect of age on genetic control of *Pinus radiata* earlywood and latewood properties. *Appita Journal* 53(2):103-107.
- Pereyra, O. y Gelid, M. 2000. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y Norte de Corrientes. Proyecto de Investigación Aplicada N°:24/96. Facultad de Ciencias Forestales (U.Na.M). Argentina. 35 pp.
- Shelbourne, T.; Evans, R.; Kibblewhite, P. and Low, Ch. 1997. Inheritance of tracheid transverse dimensions and wood density in radiata pine. *Appita Journal* 50(1): 47-50.
- Smook, G. 1997. Handbook for pulp and paper technologists. Second edition. Angus Wilde Publications. Vancouver, B.C., Canada. 419 pp.
- Stonecypher R.W., Zobel B.J., Blair, R. 1973. Inheritance patterns of loblolly pine from a non-selected natural population. *NC Ag. Expt. Sta. Tech. Bull.* 200. 60pp.
- Szymanski, MB. 1991. Loblolly pine provenance variation in age of transition from juvenile to mature wood specific gravity. *For Sci* 37:160-174.
- Talbert, JT, Jett, JB, Bridgwater, FE, Jahromi, ST. 1982. Genetic parameters of wood specific gravity in a control pollinated loblolly pine genetic test. *Tapi Res Dev Div Conf. Asheville, NC.* p 179-182.
- Tarissa, G. and Burkhart, H. 1998. Juvenile-mature wood demarcation in loblolly pine trees. *Wood and Fiber Science.* 30:119-127.
- van Buijtenen, JP. 1962. Heritability estimates of wood density in loblolly pine. *Tappi* 45:602-605.
- van Buijtenen, JP. 1963. Heritability of wood properties and their relation to growth rate
- Williams, CG, and Megraw, RA. 1994. Juvenile-mature relationships for wood density in *Pinus taeda*. *CJFR* 24:714-722.

- Zamudio, F.; Rozenberg, Ph.; Baetig, R.; Vergara, A.; Yañez, M.; Gantz, C. 2005. Genetic variation of wood density components in a radiata pine progeny test located in the south of Chile. *Ann. For. Sci.* 62(2005):105-114.
- Zobel B.J. and van Buijtenen J.P. 1989. *Wood Variation: Its Causes and Control*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 363 pp.
- Zobel, B.J., Stonecypher, R.W., Browne, C., Kellison, R.C. 1966. Variation and inheritance of cellulose in southern pines. *Tappi* 49:383-387.
- Zobel, B.J., Stonecypher, R.W., Browne, C. 1968. Inheritance of spiral grain in young loblolly pine. *For Sci* 14:376-379.
- Zobel B.J., McElwee, R.L., Browne, C. 1962. Interrelationship of wood properties of loblolly pine. 6th So For Tree Impr Conf, Gainesville, Florida. p 142-162.
- Zobel, B.J., Kellison, R.C., Mathias, M. 1969. Genetic improvement in forest trees – growth rate and wood properties in young loblolly pine. 10th So For Tree Impr Conf, Houston, Texas. p 57-75.
- Zobel, B., Jett, J.B., Hutto, R. 1978. Improving wood density of short rotation southern pine. *Tappi* 61:41-44.
- Zobel, B.J. 1956. Genetic, growth, and environmental factors affecting specific gravity in loblolly pine. *For Prod J* 6:442-447.

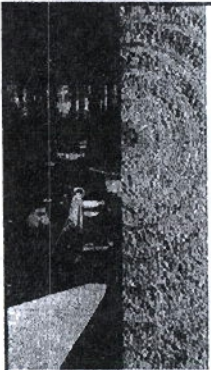


Propiedades de la Madera para la Industria Forestal

Aserrada y Paneles

Miguel Peredo López & Cristian Barria Contreras

Concepción, 27 Marzo de 2006

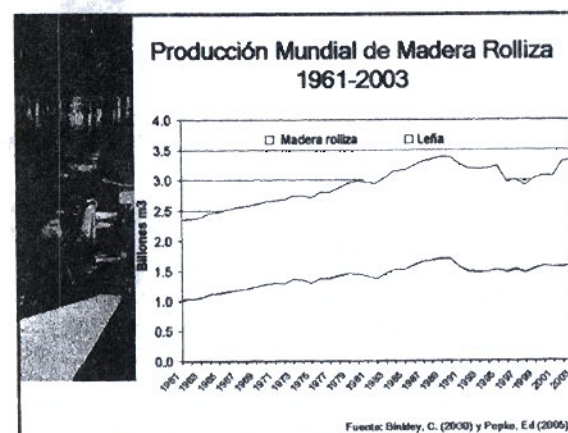


Contenido

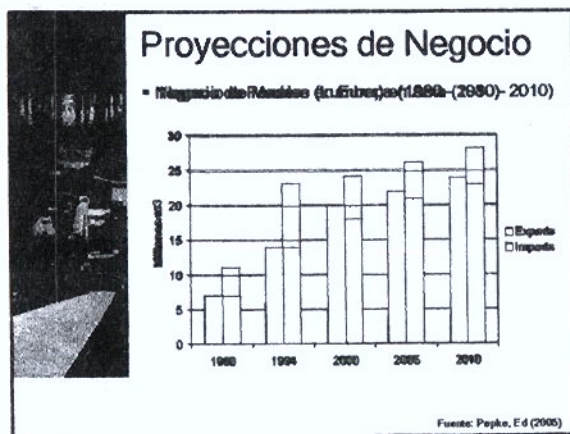
1. Mercado de Productos Forestales.
2. Anatomía y Estructura de la Madera.
3. Propiedades físicas, mecánicas y químicas de la madera.
4. Características de la madera que inciden en el rendimiento y la calidad del producto final.
5. Resumen. Propiedades de la madera más importantes para la industria de aserrío y debobinado.

Curso Internacional de Gestión y Biotecnología Forestal

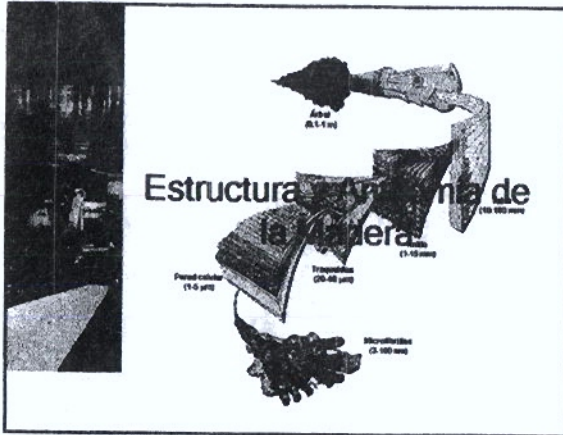
Concepción, Chile, 26 de marzo - 7 abril de 2006

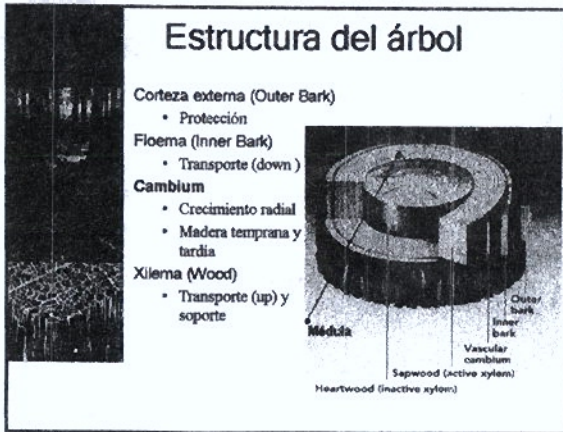


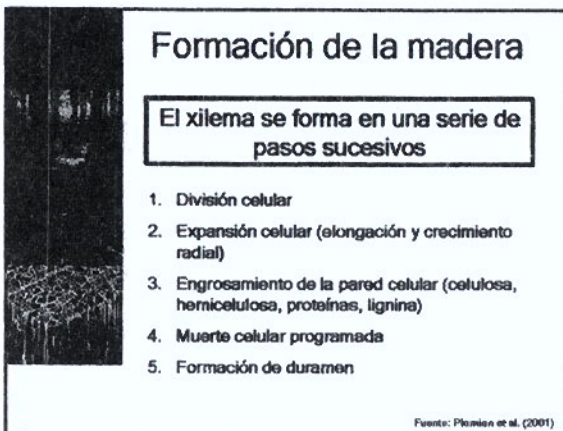














Tipos de madera

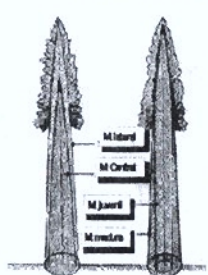
Variación: Dentro y entre árboles, entre especies, diferencias anatómicas, químicas y físicas

- ❖ Madera temprana / tardía
- ❖ Madera juvenil / adulta
- ❖ Madera normal / reacción
- ❖ Genotipos / especies

Fuente: Plinio et al. (2001)

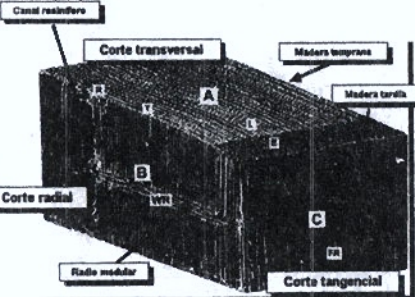


Características de la madera dentro de un árbol

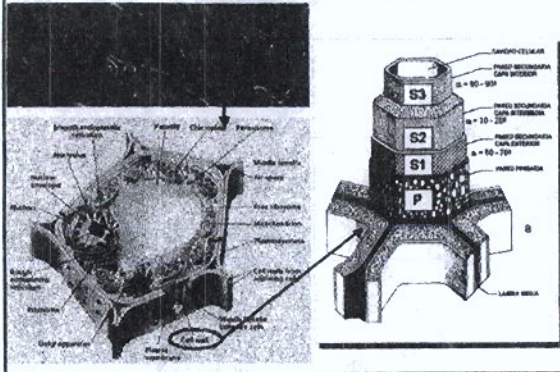





Microanatomía

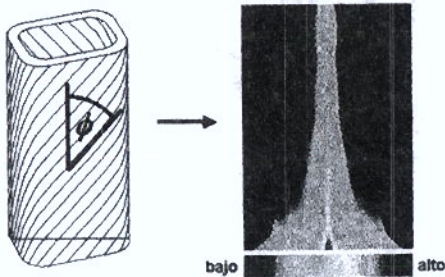


Microanatomía



Microanatomía

Importancia del AMF!!



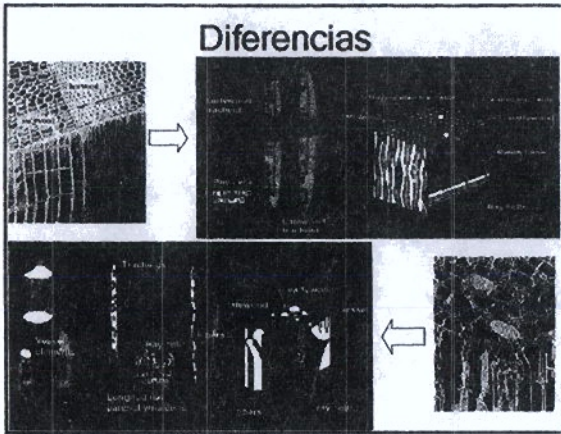
Tipos de árboles



Maderas blandas (Softwood)



Maderas duras (Hardwood)





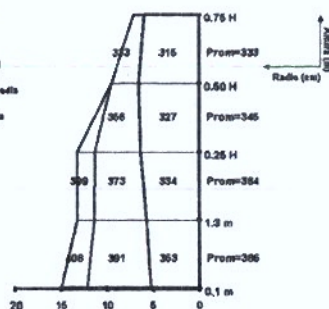


Propiedades Físicas

▪ Densidad básica a nivel de árbol

CLASE 15 AÑOS

- ☐ M. Juvenil
- ☐ M. Intermedia
- ☐ M. Madura

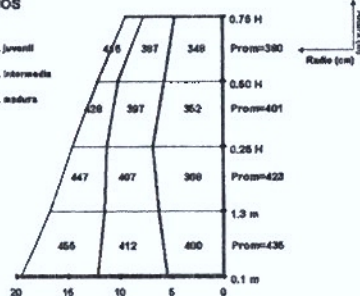


Propiedades Físicas

▪ Densidad básica a nivel de árbol

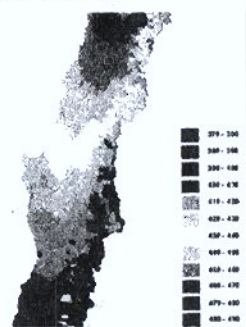
CLASE 25 AÑOS

- ☐ M. Juvenil
- ☐ M. Intermedia
- ☐ M. Madura



Propiedades Físicas

▪ Distribución geográfica de la densidad básica

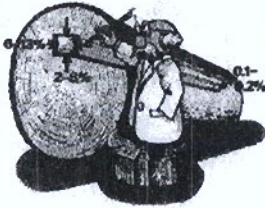


Propiedades Físicas

• Contracción

Indicadores de contracción *Pinus radiata*

Contracción típica en maderas "Normal"



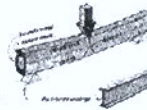
Humedad	Dimensión	Contracción (%)
Verde - 12 %	Tangencial	4.0
	Radial	2.0
	Longitudinal	0.1
	Volumétrica	6.0
Verde a seco horno	Tangencial	7.0
	Radial	3.4
	Longitudinal	0.2
	Volumétrica	10.5

Propiedades Mecánicas

Dureza

FACTORES QUE INFLUYEN:

- Contenido de humedad
- Densidad
- Madera juvenil
- Nudos, grietas, perforaciones
- Ángulo de la fibra, crecimiento espiralado
- Temperatura ambiente
- Tiempo aplicación de la carga
- Especie



	B. Arauco					NZ
Propiedad <i>P. radiata</i>	9 años	14 años	20 años	25 años	30 años	
Densidad 12% (kg/m³)	398	431	453	498	425	
Tensión (kg/cm²)	305	358	388	432	373	
MOR (kg/cm²)	565	658	755	806	792	
MOE (kg/cm²)	49.8	60.4	77.1	81.9	75.0	
Compresión (kg/cm²)	310	385	443	485	337	
Dureza (kg)	277	306	340	423	316	

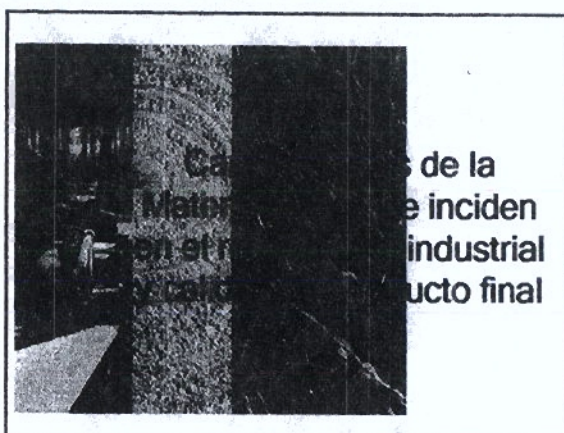
Propiedades Químicas

• Componentes primarios

Madera	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Hardwood	40-44	15-35	18-25
Softwood	40-44	20-32	25-35

Componentes secundarios:

Pectins and Starch: ~ 6%
 Extractives: ~ 1-40%, typically 5%
 Inorganics: 0.1 - 0.5%, Ca, K, Mg, Si

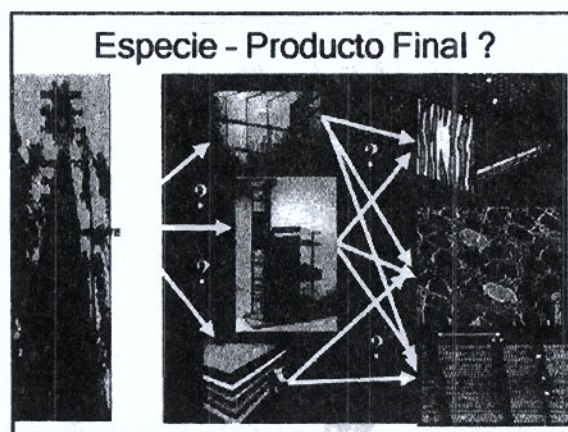


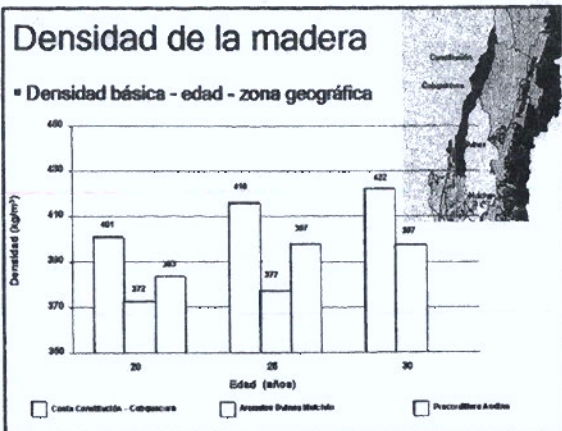
Árbol grande o pequeño?
Grueso o delgado?
Podado (DCD), regular (nudos) ?

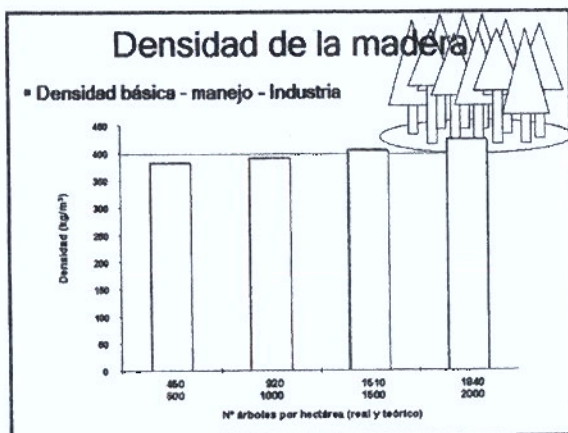


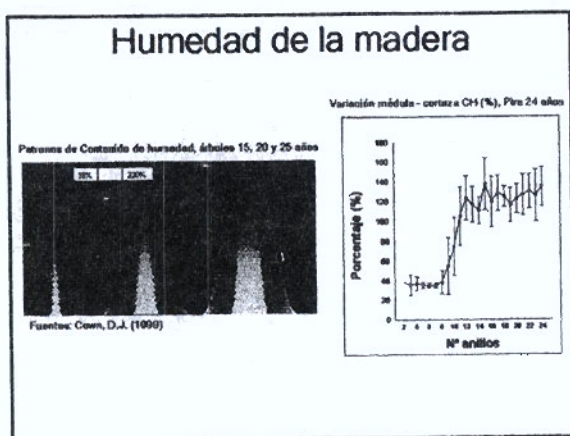
Propiedades de interés:

- Especie
- Densidad de la madera
- Contenido de humedad
- Diámetro, Curvatura, Conicidad y Excentricidad.
- Nudos (podado o regular)
- Defectos
- Madera de reacción (MT o MC)
- Fibra revirada









Criterios para asignación de rollizos

Calidad Trozo	Propiedades Trozo	Productos
Trozos residuales: - Fibras - Pulpa	- Tamaño pequeño - Alto CJA - Alto % albura - Baja densidad	PANELES - MDF - OSB - Tableros de partículas - PAPEL
Trozos regulares: - Trozos aserrables - Trozos debobinables - Peces	- Tamaño pequeño/medio - Ramas frecuentes - Trozos rectos - Resistencia media - Densidad media	MADERA - Estructural - Ensamble - Otros propósitos - CHAPAS - Paneles - LVL - Puentes
Trozos regulares (intermedios largos): - Trozos aserrables	- Tamaño mediano/grande - Trozos rectos - Ramas espaciadas - Densidad media	MADERA - Cleares cortos - Outlines - Factory - Sleep
Trozos podados: - Trozos aserrables - Trozos debobinables	- Trozo podado - Diámetro grande - Trozos rectos - Alto rendimiento clear - DCD pequeño - Alta densidad	MADERA - Cleares largos - Mouldings - Ensamble - CHAPAS - Cleares - Pellets y debobinado

Clasificación de rollizos

Categoría	Código	Curvatura (R D.JAS)	Tamaño Nudos/Ramas	Diámetro (JAS)	Uso más Probable
Podado 1*	P1	< 15	N.A.	> 28	PAJAJAJAJA
	P2	< 20	N.A.	22 - 28	AJAJA
	P3	< 30	N.A.	> 28	AJAJA
Podado 2*	P4	> 20 < 30	N.A.	22 - 28	AJAJA
	P5	> 30 < 50	N.A.	> 30	AJAJA
	SP1	< 30	75% largo, podado	22 - 28	AJAJA
	SP2	< 50	75% largo, podado	> 28	AJAJA
Estructural	PM	Todos	Todos	Todos	AJAJA
	S1	< 15	< 5 cm	22 - 28	AJAJA
Regular 1*	S2	< 20	< 5 cm	> 28	AJAJAJAJAJA
	R1	< 20	< 30 % D.JAS	18 - 22	AJAJA
	R2	< 25	< 30 % D.JAS	24 - 28	AJAJA
Regular 2*	R3	< 30	< 30 % D.JAS	30 - 50	AJAJA
	R4	< 30	< 40 % D.JAS	18 - 22	AJAJA
	R5	< 40	< 40 % D.JAS	24 - 28	AJAJA
	R6	< 50	< 40 % D.JAS	30 - 50	AJAJA
Regular 3*	RM	Todos	Todos	Todos	AJAJA
	R7	> 30	> 40 % D.JAS	18 - 28	AJAJA
Fibras	I	S.L.	S.L.	> 50	OSB/MDF

(*) = Diámetro superior del tronco (DMS)

SP = Sección podada (mínimo 75 % largo del tronco, podado)

PM/SP = Podado/Regular manchado (semas características normales, manchadas)

S.L. = Sin Límite

Principales causales de rechazo

Aserradero (4 - 5%)

- Curvatura
- Diámetros
- Defectos (pecas)
- Nudos (sobre tamaño)
- Operacionales
 - Astillado
 - Partido
 - Mancha
 - Largo
 - Mal descortezado

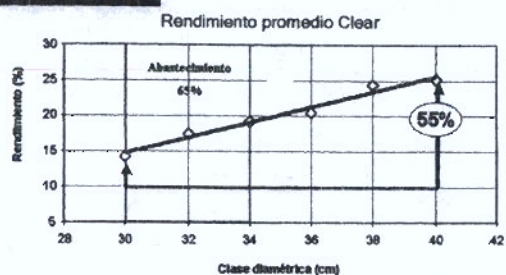


Paneles (30%)*

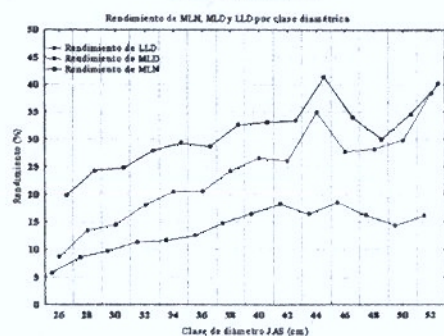
- Curvatura
- Nudos (regulares)
- Diámetros (30 - 60 cm)
- Excentricidad
- Operacionales
 - Astillados
 - Partido
 - Acusado
 - Mancha
 - Largo

* Muestra de troncos anudados

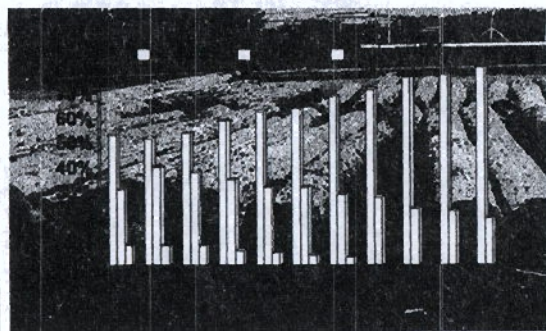
Efecto del Diámetro del rollizo, Aserraderos



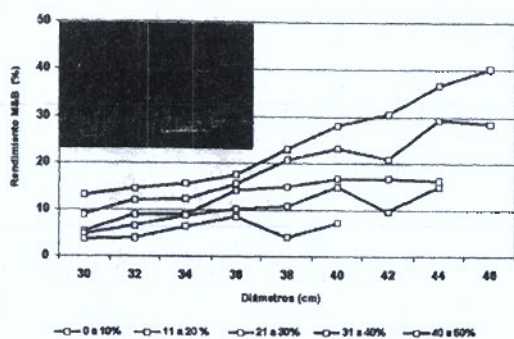
Efecto del Diámetro del rollizo, Planta Debobinado



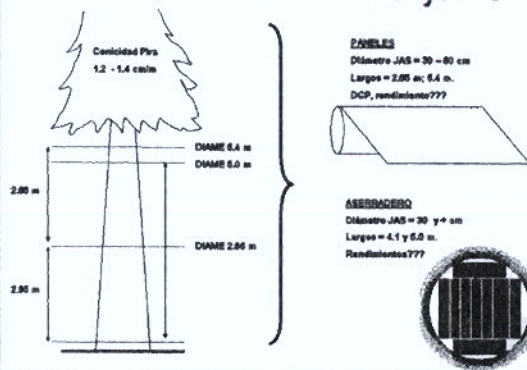
Efecto de la Curvatura, Aserraderos



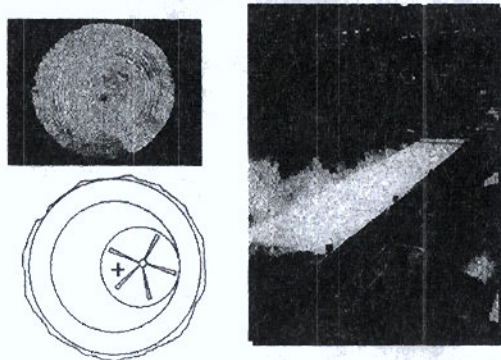
Curvatura - Rendimiento M&B

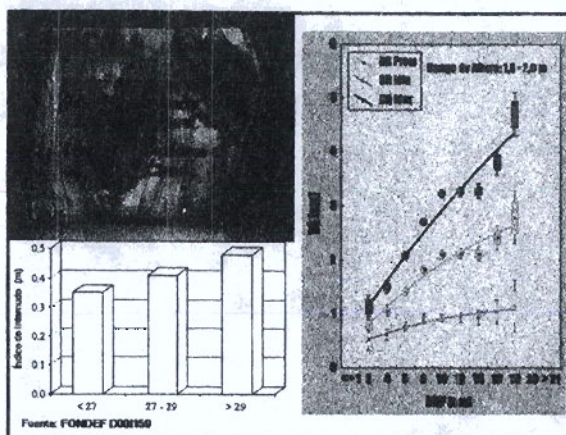


Conicidad - Diámetro objetivo



Excentricidad





Nudos

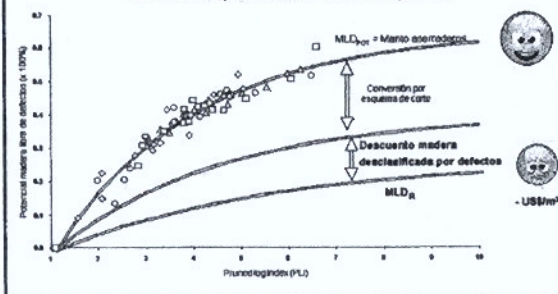
EFFECTO DE DIÁMETRO, DENSIDAD Y TAMAÑO NUDOS EN EL RENDIMIENTO DE MADERA ESTRUCTURAL

Diámetro	Dens	% F5 y mejor según diam. ramas							
		2	3	4	5	6	7	8	
250	350	70	56	44	34	27	22	18	
	400	86	73	61	52	44	40	36	
	450	87	88	75	68	59	52	49	
350	350	73	58	48	38	28	23	19	
	400	88	78	65	55	47	42	38	
	450	91	91	79	69	61	56	53	
450	350	76	61	49	37	29	24	20	
	400	93	80	68	57	49	43	39	
	450	94	83	72	63	53	48	44	

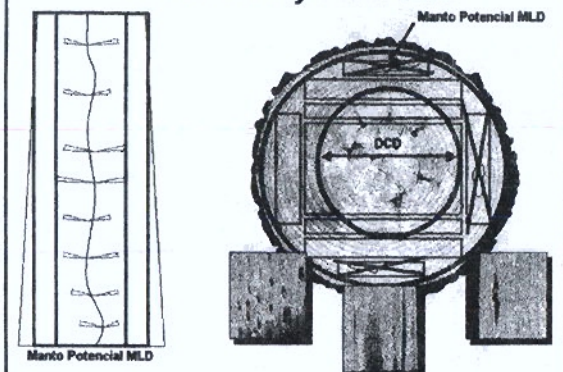
Kilamonth, L., & Wittchen (1992)

Defectos

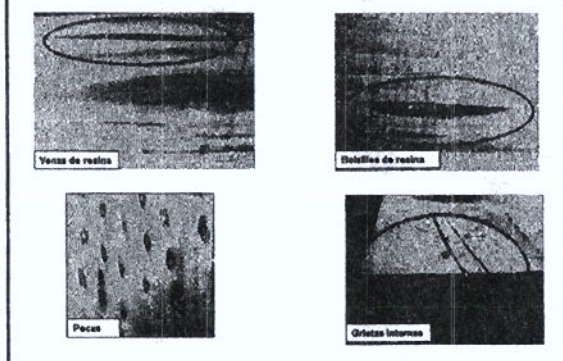
Efecto de los "random defects" en la obtención de productos clear
MLD Potencial (considerando conversión) vs PLI



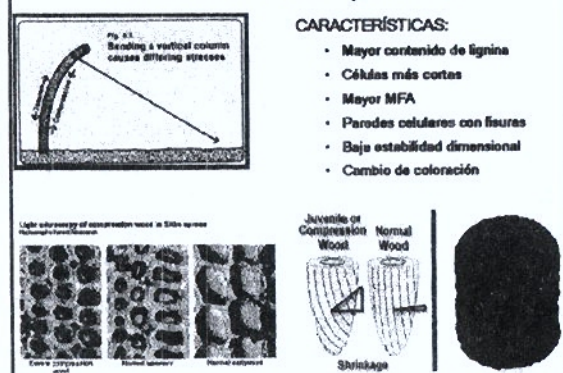
Conversión y Defectos

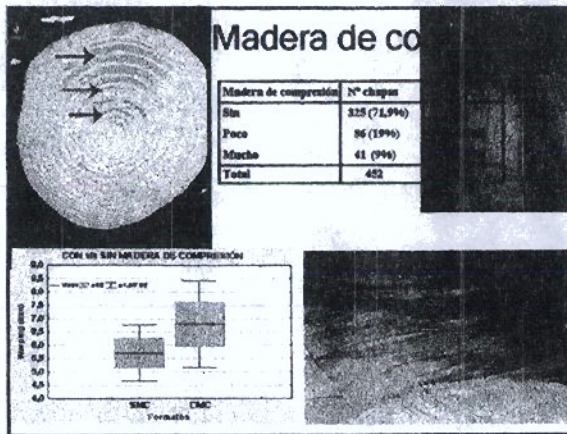


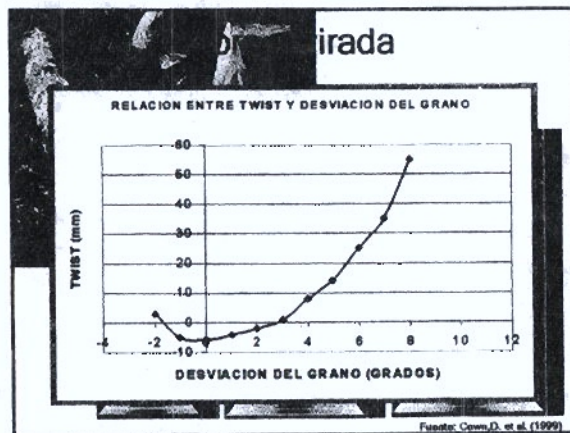
Defectos más comunes



Madera de compresión







Resumen

1. Forma (diámetro, largo, curvatura, conicidad y excentricidad de la médula).
2. Propiedades físicas (especie, densidad básica, contenido de humedad, contracción)
3. Presencia de defectos (nudos, bolsillos de resina, pecas, grietas internas, madera de reacción, fibra revirada).

Bibliografía

Birdsey, C. (2000). The Role of Technology in Meeting the World's Need for Wood.

Coma, 2003. Centro de Transferencia Tecnológica de Pinus Radiata. Manual de directrices para la enseñanza en Ingeniería.

Corn, D.; Hebert, J. and Bell, R. 1999. Modelling Radiata Pine Lumber Characteristics. Chapter 1: Mechanical Properties of Small Cleats.

Corn, D.J. 1999. New Zealand Pine and Douglas-Fir. Suitability for Processing. Forest Research Bulletin 216.

FONDEF D000159.2001. Desarrollo de un sistema tecnológico industrial y simula para la mejor competitividad en la producción de maderas aserradas clear.

<http://www.forestresearch.gov.uk/>

<http://www.kimberly.com/>

Kinnmonth, J.A. & Whitehouse, L.J. 1991. Properties and Uses of New Zealand Radiata Pine. Volume one - Wood Properties.

Popko, E. 2005. Global Forest Products Market and Resource Trends.

Plomion, C., Lapovost, G., Stokes, A., 2001. Wood formation in trees. *Plant Physiology* 127:1513-1523.



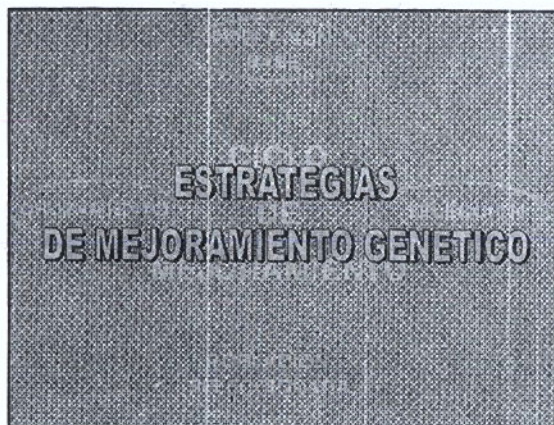
Propiedades de la Madera para la Industria Forestal

Aserrada y Paneles

Miguel Peredo López & Cristian Barria Contreras

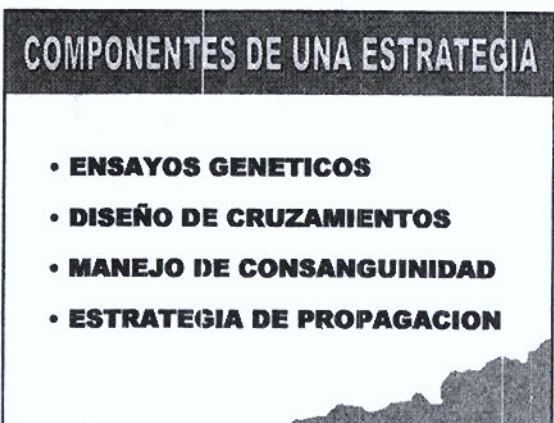
Concepción, 27 Marzo de 2008

Sección 25.





**PLAN DE ACCIONES
ESTABLECIDO PARA LOGRAR
LOS OBJETIVOS DEL
PROGRAMA DE
MEJORAMIENTO GENETICO**



- ENSAYOS GENETICOS
- DISEÑO DE CRUZAMIENTOS
- MANEJO DE CONSANGUINIDAD
- ESTRATEGIA DE PROPAGACION

DECISIONES PRACTICAS

SE EFECTUARAN ENSAYOS GENETICOS ?

COMO, CUANTOS, DONDE ?

**COMO SE CRUZARAN LOS INDIVIDUOS
SELECCIONADOS PARA REGENERAR LA
POBLACION BASE DE LA PROXIMA
GENERACION ?**

DECISIONES PRACTICAS

**COMO SE MANEJARA LA
CONSANGUINIDAD ?**

**COMO SE PRODUCIRAN LAS PLANTAS
PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS
PLANTACIONES ?**

CONDICIONANTES DE UNA ESTRATEGIA

ACCION GENETICA

- ADITIVA
- NO-ADITIVA

COSTO IMPLEMENTACION

- POBLACION DE MEJORMIENTO
- POBLACION DE PRODUCCION

ACCION GENETICA Y ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO	
ACCION GENETICA	ESTRATEGIA
ADITIVA	AUMENTAR LA FRECUENCIA DE LOS ALELOS DESEABLES EN LA POBLACION

ACCION GENETICA Y ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO	
ACCION GENETICA	ESTRATEGIA
NO-ADITIVA	AUMENTAR LA FRECUENCIA DE ALELOS COMPLEMENTARIOS EN POBLACIONES MULTIPLES

MANEJO DE LA CONSANGUINIDAD
EVITAR LA DEPRESION POR CONSANGUINIDAD DE LA POBLACION DE PRODUCCION
EVITAR LA PERDIDA DE ALELOS QUE PUEDAN SER DE UTILIDAD EN EL FUTURO

DILEMA DE LOS GENETISTAS

**CUANTA GANANCIA A CORTO
PLAZO SE DEBE SACRIFICAR
EN BENEFICIO DE LA
GANANCIA A LARGO PLAZO**

DILEMA DE LOS GENETISTAS

**AUMENTAR LA INTENSIDAD DE SELECCION
SIGNIFICA MAYORES GANANCIAS**

**TAMBIEN SIGNIFICA MAYOR
PROBABILIDAD DE CRUZAMIENTO ENTRE
PARIENTES (AUMENTO DE LA
CONSANGUINIDAD)**

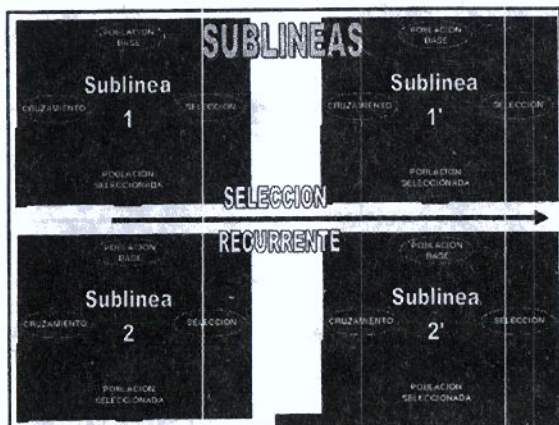
DILEMA DE LOS GENETISTAS

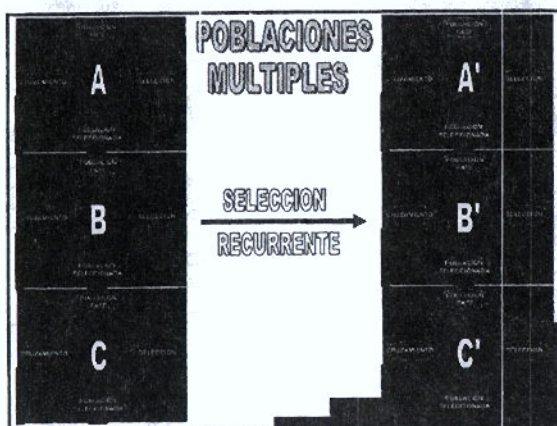
**EL AUMENTO DE LA CONSANGUINIDAD
SIGNIFICA:**

DEPRESION POR CONSANGUINIDAD

**MAYOR PROBABILIDAD DE PERDIDA DE
ALELOS FAVORABLES DE BAJA
FRECUENCIA**







ESTRATEGIA DE PROPAGACION

**PLAN PARA LA PRODUCCION
MASIVA DEL MATERIAL
GENETICAMENTE MEJORADO**

ESTRATEGIA DE PROPAGACION

MEJOR ALTERNATIVA DEPENDE DE:

TIPO DE ACCION GENETICA

- ADITIVA
- NO-ADITIVA

MODO DE REPRODUCCION

- SEMILLAS
- VEGETATIVA

COSTOS DE PROPAGACION

ACCION GENETICA Y ESTRATEGIA DE PROPAGACION

ACCION GENETICA

ESTRATEGIA

ADITIVA

**CUALQUIER MODO
DE PROPAGACION**

NO-ADITIVA

**PROPAGACION
VEGETATIVA O
USO DE FAMILIAS
DE HERMANOS
COMPLETOS**

OPCIONES DE PROPAGACION

PROPAGACION VEGETATIVA OPERACIONAL DE ARBOLES ADULTOS ES POSIBLE

PROPAGACION VEGETATIVA OPERACIONAL DE ARBOLES JOVENES ES POSIBLE

PRODUCCION ABUNDANTE DE SEMILLAS A TEMPRANA EDAD

PRODUCCION OPERACIONAL DE SEMILLAS DE CRUZAMIENTOS CONTROLADOS ES POSIBLE

ESTRATEGIAS DE PROPAGACION

CUANDO LA PROPAGACION VEGETATIVA OPERACIONAL DE ARBOLES ADULTOS ES FACIL: EJEMPLO ALAMOS, EUCALIPTOS, OTROS

SE CAPITALIZA GANANCIAS EN BASE A LOS COMPONENTES ADITIVO Y NO-ADITIVO DE LA VARIANZA GENETICA

EL METODO DE SELECCIÓN DE LOS CLONES A PROPAGAR PUEDE SER CRITICO

EL PROGRAMA BASE DE MEJORAMIENTO GENETICO DEBE SER MANTENIDO

ESTRATEGIAS DE PROPAGACION

CUANDO LA PROPAGACION VEGETATIVA OPERACIONAL DE ARBOLES JOVENES ES FACIL: EJEMPLO: PINOS, EUCALIPTOS, OTROS

SE UTILIZA LA MULTIPLICACION CLONAL DE FAMILIAS PARA:

SUPLIR BAJAS PRODUCCIONES DE SEMILLAS EN LOS H.S.

PROPAGAR FAMILIAS DE CRUZAMIENTOS DE ALTO VALOR

UTILIZAR PARTE DE LA VARIACION NO-ADITIVA

ESTRATEGIAS DE PROPAGACION

**CUANDO LA PROPAGACION VEGETATIVA
OPERACIONAL NO ES POSIBLE, PERO LA
PRODUCCION DE SEMILLAS ES BUENA**

H.S. TRADICIONALES DE POLINIZACION ABIERTA

H.S. DE POCOS CLONES (DEPURADOS, 1.5)

**SUPLEMENTACION MASIVA DE POLEN /
HUERTOS DE CRUZAMIENTOS CONTROLADOS**

HUERTOS SEMILLEROS DE DOS CLONES

HUERTOS SEMILLEROS TRADICIONALES

CARACTERISTICAS

**MULTIPLES CLONES ESTABLECIDOS EN UN
DISEÑO QUE FAVORECE EL
INTERCRUZAMIENTO ENTRE TODOS ELLOS**

POLINIZACION ABIERTA

HUERTOS SEMILLEROS TRADICIONALES

VENTAJAS

RELATIVAMENTE BARATO

DESVENTAJAS

CAPTURA GANANCIA SOLO EN BASE A HCG

**LA CONTAMINACION DE POLEN PUEDE CAUSAR
PERDIDAS SIGNIFICATIVAS DE GANANCIA**

HUERTOS SEMILLEROS DE POCOS CLONES

CARACTERISTICAS

**HUERTOS SEMILLEROS TRADICIONALES
ALTAMENTE DEPURADOS**

**HUERTOS SEMILLEROS 1.5 CON SOLO LOS
MEJORES CLONES DE CADA ZONA**

HUERTOS SEMILLEROS DE POCOS CLONES

VENTAJAS

**DEPURACION INTENSA AUMENTA LAS
EXPECTATIVAS DE GANANCIA**

DESVENTAJAS

**AUMENTA PROBABILIDAD DE CRUZAMIENTO
ENTRE PARIENTES**

**AUMENTA EFECTO NEGATIVO DE LA
CONTAMINACION DE POLEN**

SUPLEMENTACION MASIVA DE POLEN

CARACTERISTICAS

**POLINIZACION DE FLORES EN H.S.
TRADICIONALES SIN AISLACION DE LAS
FLORES FEMENINAS**

**POLINIZACION DE FLORES EN H.S.
ESPECIALMENTE DISEÑADOS PARA EFECTUAR
CRUZAMIENTOS SIN AISLACION DE LAS
FLORES FEMENINAS**

SUPLEMENTACION MASIVA DE POLEN

VENTAJAS

UTILIZA PARTE DE LA VARIANZA NO-ADITIVA

**LO PEOR ES OBTENER LA MISMA GANANCIA
QUE LA OBTENIDA CON SEMILLA NORMAL DEL
HUERTO**

DESVENTAJAS

AUMENTA EL COSTO DE LA SEMILLA

**PUEDE REQUERIR NUVOS DISEÑOS DE HUERTOS
SEMILLEROS**

HUERTO DE CRUZAMIENTOS CONTROLADOS

CARACTERISTICAS

**RAMETOS MANEJADOS A BAJA ALTURA E
INTENSAMENTE PARA INDUCIR LA
PRODUCCION DE LAS FLORES FEMENINAS**

**SEMILLA PRODUCIDA SOLO POR MEDIO DE
CRUZAMIENTOS CONTROLADOS CON
AISLACION DE LAS FLORES FEMENINAS**

**SEMILLAS PUEDEN SER USADAS
DIRECTAMENTE EN VIVEROS O PROGRAMAS
DE MULTIPLICACION CLONAL**

HUERTO DE CRUZAMIENTOS CONTROLADOS

VENTAJAS

UTILIZA PARTE DE LA VARIANZA NO-ADITIVA

**NO ES AFECTADO POR CONTAMINACION DE
POLEN**

DESVENTAJAS

**AUMENTA SIGNIFICATIVAMENTE EL COSTO DE
LA SEMILLA**

**REQUIERE DEL USO DE PERSONAL
ESPECIALIZADO EN LA EJECUCION DE LOS
CRUZAMIENTOS**

HUERTO SEMILLERO DE DOS CLONES

CARACTERISTICAS

**DOS CLONES CON ALTA HABILIDAD
COMBINATORIA ESPECIFICA ESTABLECIDOS
EN UN DISEÑO TRADICIONAL DE HUERTO**

HUERTO SEMILLERO DE DOS CLONES

VENTAJAS

UTILIZA PARTE DE LA VARIANZA NO-ADITIVA

DESVENTAJAS

**AUMENTA SIGNIFICATIVAMENTE LA
PROBABILIDAD DE AUTOCRUZAMIENTOS**

**DEBE COINCIDIR EL PERIODO DE FLORACION DE
LOS DOS CLONES**

**LA CONTAMINACION DE POLEN PUEDE REDUCIR
LAS GANANCIAS**

ESTRATEGIA P. taeda NCSU - II CYCLE

CRUZAMIENTOS Y ENSAYOS

POLIMIX PARA HCG

**DIALELOS DESCONECTADOS PARA PRODUCIR
HERMANOS COMPLETOS**

ESTRATEGIA PROPAGACION

**SEMILLA H.S. DE P.A. PARA GANANCIA BASADA
EN HCG (VARIANZA ADITIVA)**

**SUPLEMENTACION DE POLEN PARA GANANCIA
BASADAS EN HCE (ADITIVA Y NO-ADITIVA)**

MANEJO DE LA CONSANGUINIDAD

USO DE SUBLINEAS

ESTRATEGIA P. radiata N. ZELANDIA

CRUZAMIENTOS Y ENSAYOS

POLIMIX PARA HCG

FACTORIALES DESCONECTADOS PARA
PRODUCIR HERMANOS COMPLETOS

ESTRATEGIA PROPAGACION

SEMILLA H.S. DE P.A. PARA GANANCIA BASADA
EN HCG (VARIANZA ADITIVA)

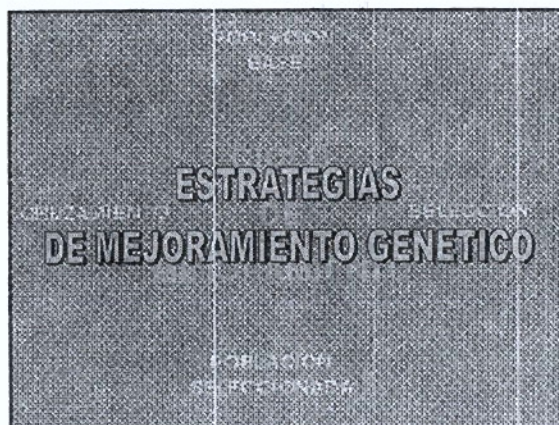
MLTIPLICACION CLONAL DE FAMILIAS DE
HERMANOS COMPLETOS PARA GANANCIA BASADAS
EN HCE (ADITIVA Y NO-ADITIVA)

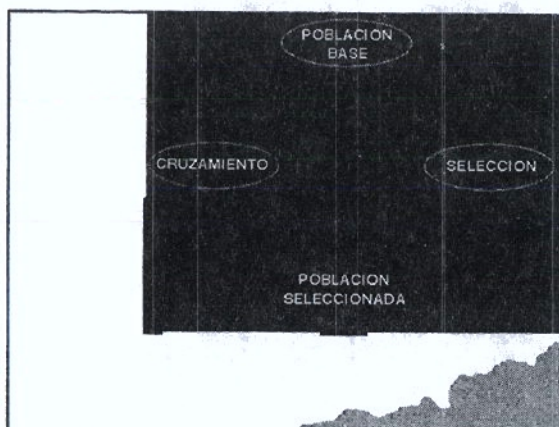
MANEJO DE LA CONSANGUINIDAD

USO DE UNA SOLA POBLACION Y ENFASIS EN
SELECCIÓN DENTRO DE FAMILIAS

Preguntas?









Interacción Genotipo - Ambiente

G.R. Hodge

Curso Internacional de Genética y Biotecnología Forestal
26 marzo – 7 abril, 2006

A. GxE

- 1) Modelo lineal debería ser $P = G + E + GE$
- 2) Tipos de GxE
 - a) GxE asociada con escala (afectado por el promedio de la característica)
 - b) Cambio "Rank"
 - Esto es el tipo de GxE que es importante al mejorador.
- 3) ¿Cómo mide GxE?
 - a) Ensayos-F en ANOVA
 - Se miden solo "statistical significance", no la importancia práctica
 - b) Correlación genética Tipo B
 - $r_{Bg} = \text{Var}(G) / [\text{Var}(G) + \text{Var}(GE)]$
 - $0 \leq r_{Bg} \leq 1$
 - $r_{Bg} = 1$ indica correlación perfecta de genotipos entre ambientes
 - $r_{Bg} = 0$ indica no correlación de genotipos entre ambientes
 - Las r_{Bg} típicas para crecimiento de árboles forestales son entre 0.60 to 0.90.
- 4) Causas de GxE
 - a) Suelos
 - Pino radiata, volcanic pumice vs suelos arcillosos en NZ
 - b) Region Geografica - Clima
 - Loblolly pine (*P. taeda*) – frost frequency in southern US
 - *P. tecumumanii*, *P. caribaea*, *P. patula*, *P. maximinoi* tested in Colombia, Brazil, South Africa – r_{Bg} within a country is typically 0.60 to 0.90, r_{Bg} for different country performance is typically 0.40 to 0.70 (0.20 less than within a country).
 - c) Unknown
 - slash pine (*P. elliottii*)
- 5) Predictable vs. unpredictable GxE
 - a) Debe clasificar sitios para un variable importante
 - importante significa un variable asociado con el patron de GxE
 - b) predictable GxE = hay una tendencia que los mismos genotipos crecen más o meno similar en todo los ensayos en una tipa de ambiente particular.

B. Manejando GxE en un Programa de Mejoramiento

- 1) Seleccionar y mejorar para estabilidad através de ambientes multiples
 - a) Debe probar genotipos en todas las ambientes importantes
 - b) Se recomendado ensayos multiples en cada tipa de ambiente
- 2) Una población de mejoramiento, poblaciones multiples para producción
 - a) Selección en la población de mejoramiento es para adaptabilidad en todas las ambientes.
 - b) Algunas selecciones que son muy buenas para una ambiente, pero bastante malas en otros pueden ser incluidos para diversidad.
- 3) Poblaciones de Producción separadas o especificas.
- 4) Establecer un poblacion de producción, pero usar genotipos especificos para ambientes especificas.
 - a) e.g., cosechar por madre in huertos semilleros con genotipos resistentes a fusiform rust directados a sitios con alta riesgo de la plaga.
- 5) Puede establecer poblaciones de mejoramiento multiples, asociadas con poblaciones de producción.
 - a) Más costoso

Desarrollo de Indices de Selección para Arboles Forestales

G.R. Hodge

Curso Internacional de Genética y Biotecnología Forestal

26 marzo – 7 abril, 2006

I. Mini-Resumen de Estadística

- A. población
- B. muestra
- C. parametro
- D. estadística
- E. valor esperado
- F. varianza
- G. covarianza

II. Modelos Lineales

- A. Objetivo es separar el fenotipo a partes debido a fuentes diferente
- B. Efectos son aditivos, no hay covarianza entre efectos

III. ANOVA

- A. Objetivo es separar la varianza en los datos a cantidad debido a fuentes diferentes
 - 1. detectar y estimar efectos fijos
 - 2. detectar y estimar efectos al azar
- B. ANOVA tables
 - 1. Sums of Squares
 - 2. Mean Squares
 - 3. F-tests
 - 4. Componentes de Varianza
 - a) non-ANOVA based methods

IV. Parametros Geneticos

A. Heritabilidad estrecha

1. $0 \leq h^2 \leq 1$
2. proporción varianza aditiva a varianza fenotipica

B. Heritabilidad ancha

1. $0 \leq H^2 \leq 1$
2. proporción varianza genetica total (clonal) a varianza fenotipica

C. Correlación genetica

1. $-1 \leq r_g \leq 1$
2. medida estandard de relación entre el efecto genético para una característica y el efecto genético para otra característica

D. Correlación genetica tipa B

1. $0 \leq r_{Bg} \leq 1$
2. medida estandard de interacción genotipo por ambiente (GxE)
3. $r_{Bg} = 1$ indica cero varianza GxE, y correlación de familias atravésde ambientes; $r_{Bg} = 0$ indica que conducimiento de familias no es consistente atravésde ambientes.

E. Ejemplos del uso de parametros geneticos

V. Selecccion – reproducción a tazas diferentes entre genotipos diferentes.

A. Selecccion natural – sobrevivencia, adaptación

B. Selecccion artificial – utilidad a los humanos

1. Exito de selecccion artificial significa que los individuos con los genes más desirable o más útiles contribuen lo más progeny en la proxima generación.
2. en forestal, desirable significa más alto, más resistente a las plagas, mayor forma, madera más densa, etc.
3. no crear genes nuevos, pero elegir las combinaciones mejores de las que son disponibles.

VI. Objetivo de Selección

- A. Maximizar el valor genetico de las selecciones.
- B. Limites: costo, tamaño de población, diversidad
- C. Problemas
 - 1. no podemos medir el genotipo directamente
 - 2. medimos el fenotipo del árbol, y los parientes
 - a) modificado por ambiente
 - b) debimos medir y corregir o eliminar la variación ambiental.
 - 3. predicimos el valor genetico como función de los datos observados.

VII. Modelos Lineales

- A. Modelo Aditivo, varios efectos
 - 1. $y = \mu + E + B(E) + f + fe + p + e$
 - 2. Varianza, Analisis de Varianza
 - a) Componentes de varianza (y covarianza) usados para calcular parametros geneticos

VIII. Predicción de Ganancia Genetica

- A. Predecimos ganancia...
 - 1. Calcular diferencial de selección i.e., cuanto mayor es la población seleccionada que el promedio de la población original
 - 2. Descontar la diferencial de selección por un "factor de deconfianza" (reliability factor)
- B. $\Delta \hat{g} = \beta (y - \mu_y) = \beta S$

IX. Selección Masal

- A. Selección de arbole individuales por fenotipo.
- B. Modelo Lineal:
 - 1. $y_i = \mu_y + g_i + e_i$
 - 2. $\text{Var}(y) = \text{Var}(g) + \text{Var}(e)$
 - a) μ_y = efecto fijo, promedio
 - b) cada árbol tiene el mismo efecto, así no contribuye varianza.
- C. Heritabilidad $= h^2 = \text{Var}(g) / \text{Var}(y)$
- D. $\Delta \hat{g} = h^2 (y - \mu_y) = h^2 S$
 - 1. h^2 es el factor de deconfianza

2. h^2 nos decimos cuanto de la diferencial de selección es debido a efectos geneticos.

X. Principios de Predicción de Ganancia Genetica

A. Ganancia depende en heritabilidad

1. h^2 = nivel de control genetica aditiva
2. h^2 = proporción de varianza fenotipica debido a varianza aditiva
3. h^2 = proporción de diferencial de selección que se puede heredado por el progenie.

B. Ganancia depende en diferencial de selección

1. S = diferencia entre grupo seleccionado y la población
2. S depende en intensidad de selección (i)
3. S depende en varianza fenotipica en la población ($Var(y)$).

XI. Selección de Familias

A. Selección de familias basado en Habilidad Combinación General (General Combining Ability, GCA) or Breeding Value (BV) del padre o madre.

B. Modelo Lineal

1. $y_{ijkl} = \mu_y + E_i + B_{ij} + f_k + fe_{ik} + p_{ijk} + e_{ijkl}$
 - a) medios-hermanos plantados en sitios multiples
 - b) μ_y, E_i, B_{ij} = efectos fijos para promedio, ensayo, bloque
 - c) $f_k, fe_{ik}, p_{ijk}, e_{ijkl}$ = efectos al azar para familia, familia x ambiente, parcela, y dentro parcela
 - (1) efectos al azar tiene valor esperado de cero, y algun varianza

2. $Var(y) = Var(f) + Var(fe) + Var(p) + Var(e)$

3. Somos interesado en el efecto de familias, f

- a) $f = GCA$

- b) $2f = BV$

C. Podemos usar Promedio Familia para Selección de Familias

1. en un Promedio Familia, los efectos de "ruido" (sin interes para mejoradores) anulan uno a otro (i.e. cancel out, effects average out near zero)

- a) promedio fe_{ik} sobre el número de ensayos (t)
 - b) promedio p_{ijk} sobre el número total de bloques (tb)
 - c) promedio e_{ijkl} sobre el número total de árboles (tbn)

- d) $\text{Var}(\bar{y}_{..k}) = \text{Var}(f) + \text{Var}(fe) / t + \text{Var}(p)/tb + \text{Var}(e)/tbn$
2. $h^2_f = \text{family heritability} = \text{Var}(f) / \text{Var}(\bar{y}_{..k})$
- a) $h^2_f = \text{nivel de control genetico de un promedio familia}$
- b) $h^2_f = \text{proporción de varianza de promedios familias debido a varianza genetic aditiva (variación familia)}$
- c) $h^2_f = \text{proporción de diferencial de selección que se puede heredado por el progenie.}$
- D. $\Delta \hat{g} = h^2_f (\mu_s - \mu_y) = h^2_f S_f$
1. ahora, h^2_f es el factor de deconfianza
2. S_f es la diferencial de selección de familias
3. h^2_f mide la proporción de S_f debido al efecto familia, i.e., la GCA del padre.

XII. Indices de Selección Familia y Dentro-Familia

- A. Un opción – primera seleccionar las mejores familias, y despues seleccionar los mejores árboles.
1. Es el mayor árbol en familia #1 mejor que el mayor árbol in familia #2?
- B. Indice de Selección - seleccionar árboles basado en fenotipo del individuo y promedio de la familia.
1. SI da peso óptimo a la información familia y dentro familia.
2. El fenotipo del individuo igual
- a) El promedio de la familia más
- b) La desviación dentro familia
- c) $y_{ijkl} = (\bar{y}_{..k}) + (y_{ijkl} - \bar{y}_{..k})$
3. The individual tree genetic value equals
- a) the family GCA
- b) the within-family genetic deviation
- c) $\hat{g}_{jkl} = h^2_f (\bar{y}_{..k} - \mu_y) + h^2_w (y_{ijkl} - \bar{y}_{..k})$
- (1) $h^2_w = \text{heredibilidad dentro familia, similar a heredibilidad individuo}$
- (2) $h^2_w = \text{proporción de varianza dentro familia debido a varianza aditiva}$
- (3) $h^2_w = \text{proporción de la diferencial de selección dentro familia que puede heredado por el progenie.}$
4. Efecto de h^2 en los Indices de Selección

- a) Si h^2 es baja, h^2_w será baja y h^2_f será media.
- b) Si h^2 es alta, h^2_w será alta y h^2_f será alta

XIII. BLP y BLUP

- A. BLP (Best Linear Prediction) y BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) son muy similar a Selection Index.
- B. Permite análisis de situaciones con características multiples, datos desbalanceados, parametros geneticos heterogeneous, etc.
- C. Cada dato recibe peso optimo.
 - 1. cada diferencial de selección es multiplicado por un coeficiente.
 - 2. El coeficiente depende en la "heredabilidad".

Selected References

- Bridgwater, FE, and AE Squillace. 1986. Selection Indexes for Forest Trees. p17-20. In: Proc: Advanced Generation Breeding of Forest Trees: Current Status and Research Needs. Southern Cooperative Series Bulletin No. 309. June 1984, Baton Rouge, LA.
- Falconer, DS. 1981. Introduction to Quantitative Genetics. Longman & Co, New York, NY. 340p.
- Hodge, GR and TL White. 1992. Concepts of Selection and Gain Prediction. In: Handbook of Quantitative Forest Genetics. Eds. L Fins, ST Friedman and JV Brotschcol. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- White, TL, and GR Hodge. 1989. Predicting Breeding Values with Applications in Forest Tree Improvement. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 367p.

Historical Development to the State of the Art with Propagation of *Eucalyptus* sp.

Teotônio Francisco de Assis

Assistech Ltda.

Until to reach the current stage, from the time of its conception in Australia in 1948 and France in 1956, followed by the transformation in a method of commercial reproduction of elite trees during the seventies in the Republic of Congo and in Brazil, the development of cloning techniques for mass propagation of eucalypt species showed distinct phases. Up until the nineties, its evolution was relatively slow. For example, it took more than 10 years for the replacement of the commercial production of vegetative propagules using clonal banks by the clonal hedging system. The techniques originally applied to form roots in stem cuttings and the facilities used for rooting remained practically unchanged until the early nineties. In 1992, the first big change in **rooting techniques** occurred, with the appearance of propagation by micro-cutting and, later on, mini-cutting. The propagation by micro-cutting and mini-cutting represents the most modern concept of commercial cloning of *Eucalyptus* and are currently the most widely used rooting system in Brazil. The terminology of these two techniques has been standardized as mini-cutting, originating *in vitro* via micro-propagation, or *ex vitro* via budding of rooted stem cuttings. The creation of these technologies was a land-mark in the evolution of the cloning systems in *Eucalyptus*, resulting in profound changes in the main technical segments that operate in this activity and marked the beginning of a new cycle in the propagation of woody species. An important consequence of the development of propagation by mini-cutting was a change occurred in the **methods of large scale production of vegetative propagules**. The clonal hedges, that had substituted the original system of clonal banks in the early eighties, were replaced by the mini-clonal hedges, which passed to be carried out in a super intensive way, supported by hydroponic systems in controlled environments (indoor mini-clonal hedges). Currently, two hydroponic systems have been used in Brazil: sand bed with drip irrigation and intermittent flooding. Another change brought about by the use of mini-cutting propagation was the concept of **propagation facilities**. When the cloning of *Eucalyptus* reached industrial proportions, the majority of the physical facilities used for the rooting of stem cuttings used to be extremely simple (shading and a misting system). With the establishment of mini-cutting propagation and the adoption of this technology in sub-tropical climates, the need of a more controlled environment for rooting required the use of greenhouses with climate control. The importance of such facilities for the rooting process became evident, what promoted their generalized use even in other regions. The standard methodology for the development of clones from selected individuals has presented changes compared to the original system. Rejuvenation, obtained by inducing basal shoots in standing trees, using fire or annealing, appears as an alternative to the felling. In addition, this technique has been used to eliminate grafting incompatibility, as both the scion and rootstock can have the same genotype (self grafting); this procedure, besides eliminating rejection difficulties, improves the survival rate of the grafts. Micro-propagation, as a rejuvenating method, or simply as a means to bulk up recently selected clones, is progressively being less utilized for easy to root species. Mini-cutting propagation originated from sprouts of cuttings has worked very well, and the current trend is that micro-propagation will no longer be used only in specific cases, mainly due to its high costs. However, for difficult to root species, micro-propagation is still an important tool to improve the predisposition for rooting and also to increase the physiological homogeneity within clones. Micro-propagation is specially indicated to produce plants for the mini-clonal hedges in this kind of species.

Desenvolvimento Histórico e Estado da Arte na Propagação de Espécies de *Eucalyptus*.

Teotônio Francisco de Assis
Assistech Ltda

Desde sua concepção na Austrália e França, nos anos 50, passando por sua transformação em método de reprodução comercial de árvores superiores, na década de 70, no Brasil e no Congo, o desenvolvimento das técnicas de clonagem de espécies de eucalipto apresentou duas fases distintas. Até a década de 90 sua evolução foi relativamente lenta. Por exemplo, foram necessários mais de 10 anos para que a produção comercial de propágulos vegetativos, feita em bancos clonais, fosse substituída pelo sistema de jardins clonais. As técnicas originalmente utilizadas na obtenção de raízes em estacas de eucalipto, bem como as estruturas físicas utilizadas para o enraizamento, permaneceram praticamente as mesmas até o início dos anos 90. Em 1992 ocorreu a primeira grande mudança nas **técnicas de enraizamento**, com o surgimento da microestaquia e, mais tarde, da miniestaquia. A microestaquia e a miniestaquia representam o conceito mais moderno de clonagem comercial de espécies de *Eucalyptus* e são as mais utilizadas atualmente no Brasil. Foi sugerido que a nomenclatura dessas duas técnicas fosse padronizada como miniestaquia tendo sua origem *in vitro* via micropropagação ou *ex vitro* via brotações de estacas enraizadas. A criação dessas tecnologias foi o divisor de águas na evolução dos sistemas de clonagem de *Eucalyptus*, resultando em mudanças profundas nos principais segmentos técnicos que compõem essa atividade e marcou o início de um novo ciclo na propagação de espécies lenhosas. Outra importante consequência da criação da miniestaquia foi a mudança ocorrida nos **métodos de produção de propágulos vegetativos em larga escala**. Os jardins clonais, que haviam substituído o sistema original de bancos clonais, no início dos anos 80, foram substituído pelos minijardins clonais, onde a produção de propágulos passou a ser realizada de forma super intensiva, apoiada por sistemas hidropônicos, em ambientes controlados. Atualmente dois sistemas hidropônicos tem sido utilizados pelas empresas brasileiras: 1- canaletes de areia com irrigação por gotejamento e 2- sub-irrigação intermitente. Outra mudança promovida pelo uso da miniestaquia foi no conceito das **estruturas de propagação**. Quando a clonagem de *Eucalyptus* atingiu dimensões industriais, a maioria das estruturas físicas utilizadas para enraizar estacas era extremamente simples (sombreamento e um sistema de misting). Com o surgimento da miniestaquia e da adoção dessa tecnologia em ambientes subtropicais, a necessidade de um maior controle do ambiente de enraizamento exigiu o uso de estufas climatizadas. Sua importância no enraizamento ficou evidente, o que motivou a generalização do seu uso em outros ambientes.

A metodologia padrão para o desenvolvimento de clones a partir de indivíduos selecionados tem apresentado algumas mudanças em relação ao sistema original. O rejuvenescimento, obtido pela indução da brotação basal de árvores em pé, utilizando fogo localizado, o estrangulamento e o anelamento, surge como uma alternativa ao corte de árvores selecionadas. Adicionalmente essa técnica está sendo usada na eliminação dos problemas de rejeição por incompatibilidade genética em enxertos de eucalipto, uma vez que, como tanto enxerto quanto porta-enxertos tem o mesmo genótipo, há um tipo de auto enxertia, que além de eliminar os problemas de rejeição melhora os índices de pegamento dos enxertos.

A micropropagação, como método de rejuvenescimento, ou simplesmente como método de multiplicação de clones recém selecionados, em espécies de fácil enraizamento é

cada vez menos utilizada. A miniestaquia originada a partir de brotações de estacas tem funcionado bem e a tendência é de que a micropropagação deixe de ser utilizada para esse fim, principalmente pelos seus altos custos. Entretanto, em espécies de difícil enraizamento, a micropropagação continua sendo uma ferramenta importante para melhorar pré-disposição ao enraizamento e para aumentar a homogeneidade fisiológica dos pés-mãe. Desta forma a micropropagação é especialmente indicada para produzir plantas que vão constituir os minijardins clonais nesses tipos de espécies.

HYBRID ASPEN HETEROSIS AND BREEDING

Bailian Li

Department of Forestry, P.O. Box 8002, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-8002, USA (E-mail: bailian_li@ncsu.edu)

Introduction

Aspen is the most abundant poplar species in the northern U.S. and western Canada and has the most commercial importance (Einspahr and Wyckoff 1990, Li et al. 1993; Li 1995). Aspen utilization for pulp and wood production in North America has increased significantly in the last 20 years. With expanded production in existing mills and construction of new mills, there will likely be an increased demand in aspen wood supply. Interspecific hybrids between two aspen species, *Populus tremuloides* and *P. tremula*, have shown great heterosis or hybrid vigor in growth and production compared to the two parental species (Heimbürger 1936; Einspahr 1984; Li et al. 1993; Li 1995). Genetic gains from aspen breeding programs have been demonstrated in the United States (Einspahr 1984; Li et al. 1993). With significant gains in productivity reported for aspen hybrids, the rotation age of aspen hybrids could be reduced to 20-years compared to a 40-year rotation for unimproved trembling aspen in the U.S. Late States (Li et al. 1993). Breeding of fast-growing aspen hybrids for short-rotation forestry has been carried out in U.S. and Canada.

Heterosis of Aspen Hybrids

Interspecific hybrids of *Populus tremuloides* and *P. tremula* usually produce great heterosis or hybrid vigor in stem growth and production compared to either the mean value of the two parental species or the value of the better one (Heimbürger 1936; Einspahr 1984; Li et al. 1993; Li 1995). The causes for such superiority of hybrids to their parental counterparts have still not been clear, but progress has been made with both empirical and theoretical studies. Traditional quantitative genetic models cannot be well employed to analyze interspecific hybrids between these species because of possible differences in allelic systems and evolutionary histories of parental species. Furthermore, no adequate data about molecular markers have been accumulated at this point to identify important quantitative trait loci (QTL) for heterosis. A quantitative analytical method was developed to analyze the number of genetic loci underlying superior growth in aspen hybrids and determine the effect of environmental and developmental factors associated with heterosis (Li and Wu 1996). The interspecific heterozygotes, formed through species combination, were found to have much greater growth than the heterozygotes in intraspecific crosses at a few major loci in this study. Several following up studies (Wu and Li 1999, 2000) also suggested that strong heterosis in aspen hybrid results from the overdominance interaction at several key QTLs with an allele inherited from each parental species. The interspecific heterozygotes, formed through species combination, showed much greater growth than the heterozygotes in intraspecific crosses at these QTL. The significant role of overdominance is in agreement with the result from a quantitative

genetic analysis suggesting that broad-sense heritabilities are 2-6 times higher than narrow-sense heritabilities (Li et al. 1997).

The environmental control over heterosis was studied by comparing aspen hybrids of *P. tremuloides* and *P. tremula* on two different sites, an intensively managed farmland with high soil fertility and uniformity versus a cutover forest site with high heterogeneity and competition by weeds (Li and Wu 1997). The interspecific hybrids for stem volume growth surpassed the parental species to a greater extent on the farmland (by a factor of 6.5) than on the cutover forest site (by a factor of 3.6). The change of heterosis between the two trials in this example may result from environmental impacts on the genetic structure of hybrid populations. It has long been recognized that the environment can influence the level of additive genetic variance and that, in particular, an increase in environmental stress may increase the additive genetic variance (reviewed in Hoffmann and Parsons 1991). Different degrees of environmental stress at the two trials for aspens have likely resulted in the change of additive genetic variance in a predictable fashion, but the effect of environmental stress on the non-additive genetic variance, which is an important factor affecting heterosis, may be mixed. However, the non-additive genetic variance may also increase when traits are expressed in a novel environment. This increase in genetic variance would be due to the expression of different genes in the new environment, genes that had not previously been exposed to natural selection. The recruiting of these new genes will unavoidably stimulate a new allelic interaction network within and between loci. From this perspective, a novel environment would trigger the expression of new non-additive genetic effects causing heterosis in aspen hybrids when these aspen trees are grown from their native forest site (cutover) to a novel, alleviated farmland.

The heterosis may also result from the functional complementation of growth processes through the acquisition of different traits from the two parental species. The reciprocal crosses between *P. tremuloides* (T) and *P. tremula* (Ta), $T \times Ta$ and $Ta \times T$, were studied on how developmental factors interact to affect stem volume growth in the hybrid aspen trees (Li et al. 1998). At the end of the first year, the reciprocal crosses tend to display the same degree of heterosis, but greater volume growth was observed in the $T \times Ta$ than $Ta \times T$ hybrids during early growth periods of the year, whereas an inverse pattern was true during late growth periods. Component traits were found to contribute differently to heterosis of total volume for these two types of crosses. The important component for stem volume heterosis in the $T \times Ta$ hybrids is an enhanced rate of stem diameter growth, whereas the important component in the $Ta \times T$ hybrids is an extended duration of height growth. Delayed bud set in the interspecific hybrids in which *P. tremula* was used as the female parents may indicate the importance of maternal control over phenological traits. The *P. tremula* trees used as the parents originated from high latitude regions in Europe, but have been grown at a lower latitude for many years. To adapt to the lower latitude environment, these trees have been altered physiologically by recruiting those maternally inherited "lateness" genes for bud set. The maternal effect on bud set phenology can also be inferred from a similar timing of bud set in the $T \times Ta$ and $T \times T$ trees, which both share the same female parents, *P. tremuloides*.

Hybrid Aspen Breeding Programs

There are two active breeding programs of interspecific aspen hybrids for short-rotation plantation in U.S. and Canada. A cooperative breeding program was initiated for aspen improvement in 1955 at the Institute of Paper Chemistry in Appleton, Wisconsin and is now located in the University of Minnesota with support from both public and private sectors. Considerable progress has been made in selecting superior parent trees, breeding for interspecific hybrids and polyploid (Einspahr and Winton, 1976), examining growth (Einspahr and Wyckoff 1978), and evaluating wood and fiber quality (Einspahr 1984). Hybrid aspen growth rates are usually more than double those of native aspen, and the rotation length can be reduced to 20 years compared to 40 years necessary for native aspen (Einspahr, 1984; Li et al., 1993). Coupled with improvements in fiber characteristics and per acre fiber yield, hybrid aspen offers potential for overcoming projected aspen supply problems.

A modified full-sib recurrent reciprocal selection (RRS) system was developed for the University of Minnesota's aspen breeding program as the best breeding strategy for improving the diploid hybrids of *P. tremuloides* and *P. tremula* (Li and Wyckoff 1991). The strategy is to utilize additive and/or non-additive genetic variances for improving both parent populations to create heterotic hybrids in every generation (Hallauer and Eberhart, 1970). Considering the dioecious nature of aspen, the interspecific full-sib progenies are evaluated instead of half-sib progenies. This modified breeding system is to reduce the number of controlled crosses by half compared with the original RRS (Hallauer and Miranda, 1981). Another advantage is that short-term gains can be realized as soon as selections can be made based on interspecific full-sib family performance. Exceptional hybrids can be created immediately from the original parents for commercial plantations. Long-term gains will also be optimized by maintaining broad genetic bases for both parent species and improving both parent populations forward in each generation. Superior hybrids can be produced when the two species are crossed in each breeding cycle regardless of the causes of the hybrid vigor.

Another cooperative aspen breeding program has recently been initiated by several forest companies in Alberta and Saskatchewan in cooperation with the Canadian Forest Service (Li 1995). This breeding program is to develop both pure aspen species and aspen hybrids for short-rotation forestry in Alberta and Saskatchewan. Phenotypic selections have been made from three major geographic regions. The initial breeding population includes 150 phenotypically selected individuals, 50 from each of the three regions. A simple recurrent breeding program for general combining ability is used to improve pure *P. tremuloides*. Initial breeding is done within each of the three geographic regions until provenance information is available. A nested polycross mating design is used to evaluate the selected parents and generate new breeding materials. Based on early measurements in progeny tests, outstanding parents will be used to produce planting stock for operational planting. Selections for second-generation breeding will be made at age 10 after wood quality and disease resistance can be evaluated reliably. A combined family- and within-family selection will be used to form a new breeding population. For

the hybrid aspen breeding program, the initial focus is to identify the interspecific aspen hybrids that are suitable for planting in northern latitudes. Hybridization will concentrate on crosses between the local *P. tremuloides* and northern sources of *P. tremula* and *P. davidiana* (Li 1995). A tester mating design is used to identify superior species and provenance combinations. Field tests of the hybrid progenies include both unimproved checklots and selected trembling aspen crosses for comparison. This provides information on hybrid superiority (comparisons with pure aspen), genetic gain (comparisons with checklots) and the best source combinations for hybridization. If hybrid vigor is confirmed in the initial tests, tester crosses will be made on other aspen parents using a pollen mix of 10 trees from suitable sources to produce half-sib progenies. Additional field tests will be established, and hybrid progeny performance will be analyzed to identify complementary aspen parents that provide maximum hybrid vigor. The best hybrid combinations will be produced for commercial use. Based on the performance of the hybrids, a positive assortative mating may be used with the selected parents to create new materials for hybridization in future generations.

References

- Einspahr, D. W. (1984). Production and utilization of triploid hybrid aspen. *Iowa State Journal of Research* **58**, 401-409.
- Einspahr, D.W., and Winton, L.L. 1976. Genetics of trembling aspen. USDA Forest Service, Research Paper WOB25. 23 p.
- Einspahr, D.W., and Wyckoff, G.W. 1978. Growth response of hybrid aspen to intensive forest management. *Tappi* **61**:49B52.
- Einspahr, D.W., and Wyckoff, G.W. 1990. North American aspen: timber supply, utilization, and research. *North. J. Appl. For.* **7**(4):168-171.
- Heimbarger, C. (1936). Report on poplar hybridization. *Forest Chronicle* **12**, 285-290.
- Hallauer, A.R., and Eberhart, S.A. 1970. Reciprocal full-sib selection. *Crop Sci.* **10**:315-316.
- Hallauer, A.R., and Miranda, J.B. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Hoffmann, A. A. and Parsons, P. A. 1991. *Evolutionary Genetics and Environmental Stress*. Oxford University Press, Oxford.
- Li B. 1995. Aspen improvement strategies for western Canada – Alberta and Saskatchewan. *Forest Chronicle* **71**, 720-724.
- Li B., Howe, G. and Wu, R. 1998. Developmental factors responsible for heterosis in aspen hybrid (*Populus tremuloides* × *P. tremula*). *Tree Physiology* **18**, 29-36.
- Li, B. and Wu, R. 1996. Genetic causes of heterosis in juvenile aspen: a quantitative comparison across intra- and inter-specific crosses. *Theoretical and Applied Genetics* **93**, 380-391.
- Li, B. and Wu, R. L. 1997. Heterosis and genotype × environment interactions of juvenile aspens in two contrasting sites. *Canadian Journal of Forest Research* **27**, 1525-1537.

- Li, B. and Wyckoff, G.W. 1991. A breeding strategy to improve aspen hybrids for the University of Minnesota Aspen/Larch Genetics Cooperative. P.33-41 In: Proc.International Energy Agency Joint Meetings (Ed. R.B. Hall, R.D. Hanna and R.N. Nyongo).
- Li, B., Wyckoff, G.W. and D.W. Einspahr. 1993. Aspen hybrid performance and genetic gains. *Northern Journal of Applied Forestry* 10(3):117-122.
- Wu, R. L. and Li, B. 1999. A multiplicative-epistatic model for studying interspecific differences in outcrossing species. *Biometrics* 55: 355-365.
- Wu, R. L. and Li, B. 2000. A quantitative genetic model for analyzing interspecific differences in outcrossing species. *Biometrics*, in press.

Current Status of Clonal Forestry in Brazil

Teotônio Francisco de Assis

Assistech Ltda

After more than two decades from the introduction of the concept of clonal forestry of *Eucalyptus* in Brazil, this activity is today perfectly integrated in the process of raw material production for use in several segments of the industrial activity. From its consolidation as a propagation method of elite trees, it allowed the establishment of clonal forests with significant productivity gains and, more recently, it has contributed to the improvement of wood and wood products quality. Throughout these years, important technical challenges were solved, and uncertainties and worries regarding clone plantation in commercial scale, mainly those related to biological fragility as a function of narrowing the genetic basis, were left behind. In spite of the higher vulnerability of clonal plantations, during these years it was possible to verify that the attack of pests, for example, does not discriminate between seed or clonal plantations. The species influence has been a lot more determinant than the clone in the increase of plantation vulnerability to insect attack. Regarding diseases, despite all of the inherent risks of the use of clones, cloning has been essentially a solution rather than a problem. If it were not for the cloning, the planting of economically viable forests in many parts of the country would be practically impossible. The use of clones resistant to the canker, rust fungi and drought is a real example of this. The appearance of new diseases has been occurring, but again cloning has been seen as the fastest solution, mainly because of the existence of variability for the great majority of diseases. Up to now, there are no records of catastrophes that could be exclusively attributed to the use of cloning. The majority of the very few negative events occurred in clonal plantations is a lot more a consequence of failures in the process of clonal selection than of the cloning process itself. The use of clonal forests of eucalypts is currently widespread among Brazilian companies that use *Eucalyptus* for industrial purposes. Considering all the large and median sized companies, the area planted with clones corresponds to more than 1.252.959 ha, with a mean of 4,150 ha per clone. The annual rhythm of new clonal plantations, to support expansion projects of the forest-based industrial production, is in the order of 245,000 ha, with a mean of 1,820 ha per clone. The new clonal plantations to be established in 2004 will be distributed as follows: 65% of *E. grandis* x *E. urophylla*, 15% of *E. urophylla* hybrids (natural and spontaneous hybrids), 7% of *E. grandis*, 6% of *E. urophylla*, 2,5% of *E. saligna*, 0,6% of *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, 0,5% of *E. urophylla* x *E. globulus* and 0,4% of *E. camaldulensis* x *E. grandis*. The present plantations provide, besides an expectation of higher productivity, expressed in final product per hectare, the incorporation of higher quality of the wood in the various end uses for which the breeding programs are being directed. During the early years of its establishment, Brazilian clonal forestry had as its main base spontaneous and natural hybrids resistant to diseases, especially to the eucalypt canker and manifesting high level of heterosis for growth. At present, the clonal forests are being derived from individuals obtained in genetic breeding programs, whose main strategy has been the production of inter-specific hybrids. As a consequence of the success in Southern Brazil regarding the incorporation of *E. globulus* genes in locally adapted species and clones, particularly because of the significant gains in wood quality for pulp production, a shift in direction is taking place, with the majority of the pulp companies aiming at the establishment of these crossings. This appears to be a general trend and will likely constitute the new wave of clonal plantations to supply raw material for such kind of industry in Brazil.

Current Status of Clonal Forestry in Brazil

Teotônio Francisco de Assis – Assistech Ltda.

Passadas quase 3 décadas desde a introdução do conceito de florestas clonais de *Eucalyptus* no Brasil, esta atividade encontra-se hoje perfeitamente integrada aos processos de produção de matéria prima para uso em vários segmentos da atividade industrial. A partir da sua consolidação como método de propagação de indivíduos superiores, propiciou o estabelecimento de florestas clonais com significativos ganhos de produtividade e, mais recentemente, tem contribuído para a melhoria da qualidade da madeira e de seus produtos. Durante esses anos foram vencidos desafios técnicos importantes, além de incertezas e preocupações relativas ao plantio de clones em escala comercial, principalmente aquelas reativas à fragilidade biológica que a clonagem propicia, por sua influência na redução da base genética. Entretanto, apesar da maior vulnerabilidade dos plantios clonais, foi possível verificar, ao longo desses anos, que o ataque de pragas, por exemplo, não distingue entre plantios de sementes ou de clones. A influência da espécie tem sido muito mais determinante do que clone, no aumento da vulnerabilidade dos plantios ao ataque de insetos.

Com relação a doenças, apesar de todos os riscos inerentes ao uso de clones, a clonagem tem sido fundamentalmente muito mais uma solução do que um problema. Não fosse a clonagem, o plantio de florestas economicamente viáveis, em muitas regiões do país, seria praticamente impossível. O uso de clones resistentes ao cancro, à ferrugem e à seca é um exemplo real disto. O aparecimento de novas doenças tem ocorrido, mas novamente a clonagem tem surgido como a solução mais rápida, sobretudo pela existência de variabilidade para a grande maioria das doenças. Até o momento não há registros de catástrofes que possam ser imputadas exclusivamente ao uso da clonagem. A maioria dos poucos eventos negativos ocorridos em plantações clonais é muito mais decorrente de falhas no processo de seleção clonal, do que da clonagem em si.

O uso de florestas clonais de espécies de eucalipto encontra-se hoje amplamente disseminado nas empresas brasileiras, que utilizam a madeira de espécies de *Eucalyptus* com finalidades industriais. Considerando todas as grandes e médias empresas a área plantada com clones já atinge mais de 1.252.959 ha, com uma média de 4.150 ha por clone. O ritmo anual de incorporação de novos plantios clonais, para sustentar os projetos de ampliação da produção industrial de base florestal, é da ordem de 245.000 ha, com uma média de 1.820 ha por clone. Os novos plantios clonais a serem plantados em 2004 serão distribuídos da seguinte forma: 65% of *E. grandis* x *E. urophylla*, 15% of *E. urophylla* hybrids (natural and spontaneous hybrids), 7% of *E. grandis*, 6% of *E. urophylla*, 2,5% of *E. saligna*, 0,6% of *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, 0,5% of *E. urophylla* x *E. globulus* and 0,4% of *E. camaldulensis* x *E. grandis*. Os plantios atuais apresentam, além de uma expectativa de maior produtividade, expressa em produto final por hectare, a incorporação de maior qualidade da madeira nos diferentes usos finais para os quais os programas de melhoramento estão sendo direcionados.

Durante os primeiros anos de sua implantação a silvicultura clonal brasileira teve como principal base, híbridos espontâneos e híbridos naturais, manifestando heterose para crescimento e resistência a doenças, sobretudo o cancro do eucalipto. Atualmente as florestas clonais estão sendo derivadas de indivíduos gerados em programas de melhoramento genético, cuja principal estratégia tem sido a produção de híbridos interespecíficos. Em razão do sucesso verificado no sul do Brasil em relação à incorporação de genes de *E. globulus* em espécies e clones adaptados ao local, sobretudo pelos significativos ganhos em qualidade da madeira para a fabricação de

celulose, há atualmente uma mudança de rumos, com a busca desses cruzamentos na maioria das empresas que fabricam celulose. Essa parece ser uma tendência geral e deve se constituir na nova onda dos plantios clonais para abastecer as fábricas de celulose no Brasil.

ESTABLECIMIENTO DE BLOQUES FAMILIARES Y CRUZAMIENTOS CONTROLADOS EN EUCALYPTUS SPP.

Rebeca Sanhueza H.
CMPC Forestal.

1.- Introducción

Existen buenos ejemplos de programas de mejoramiento genético de especies del género *Eucalyptus* que multiplican a gran escala la población de propagación por vía vegetativa (estacas o cuttings, mini o microcuttings). Éstos utilizan la alta capacidad de enraizamiento de ciertas especies e híbridos para aprovechar todos los efectos genéticos aditivos y no aditivos maximizando la ganancia genética en la población de producción (ejemplo: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* y los híbridos entre éstos). Desafortunadamente, no todas las especies del género responden apropiadamente a la propagación por estacas. Por ejemplo, *E. globulus* y *E. nitens* son especies recalcitrantes en lo que a propagación clonal se refiere, pues del total de la población de genotipos aproximadamente un 2% (*E. nitens*) o un 10% (*E. globulus*) de ellos forman raíces en porcentajes superiores al 40% de las repeticiones (Griffin 2001; Tibbits 1997). En consecuencia, los programas de mejora de estas especies recalcitrantes tradicionalmente capturaron ganancias genéticas por medio de semilla polinización abierta procedente de Huertos semilleros, aprovechando en ella sólo la porción aditiva de la varianza genética total. Actualmente, la polinización controlada a escala operacional (OSP) es un estándar de producción mundial en *Eucalyptus globulus*, y ha revolucionado también las técnicas de cruzamientos controlados en otras especies del género debido a las ventajas comparativas que presenta y que revisaremos a continuación.

2.- Polinización tradicional versus One-Stop Pollination (OSP)

Polinización Controlada Operacional ~ OSP

La OSP es una técnica que permite reducir el número de visitas a cada flor, a fin de realizar todo el proceso de polinización en una sola detención (One-Stop Pollination) sin mermar el set de cápsulas ni el rendimiento en semillas por fruto. El objetivo es disminuir los costos en mano de obra, materiales y tiempo; obteniéndose semilla de alta calidad genética y en cantidades que permitan su uso operacional.

Se realiza en el período comprendido entre Julio a Diciembre, para el ambiente local de distribución de *E. globulus*, y posteriormente se realiza la cosecha de semillas que tiene lugar entre Octubre a Noviembre del año siguiente.

Las primeras pruebas comenzaron en Octubre de 1994 en *E. globulus* y actualmente, se ha demostrado que es una técnica que puede utilizarse en otras especies como *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. dunnii* y *E. viminalis*; aunque en especies de flores pequeñas los rendimientos de semilla por fruto son todavía muy bajos (Harbard et al. 2000).



Procedimiento

Polinización controlada vía OSP. Se seleccionan ramas que tengan yemas en ántesis y se procede a la emasculación. El estigma aún cuando no está receptivo, es cortado a lo largo aproximadamente a $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ de la longitud del estilo; y se aplica polen con un mondadientes a lo largo del corte. Puede aislarse el estigma con un tubo tygon, o no. Note que un estilo cortado puede permanecer receptivo por tres a cuatro días posteriores al corte, declinando a partir del cuarto día (Espejo et al, 1996).

Figura 1. Polinización controlada tradicional en un huerto de *Eucalyptus globulus* de la Zona de Mulchén, VIII Región.

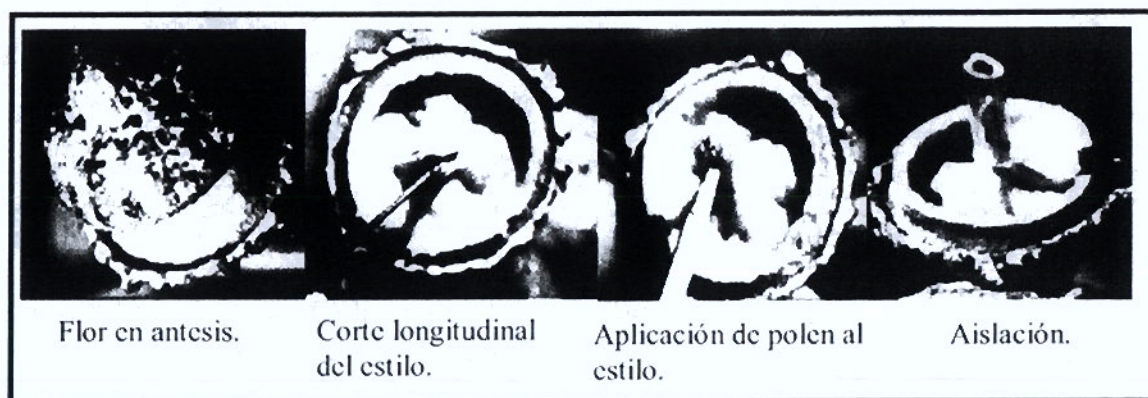


Figura 2. Polinización controlada mediante la técnica OSP en Chile, VIII Región.

En un estudio con marcadores moleculares SSR (microsatélites) realizado en conjunto con el Scottish Crop Research Institute se determinó que las flores OSP de *Eucalyptus globulus* con aislación, presentaban un 1,3% de contaminación, mientras que sin ésta el porcentaje llegaba solamente al 4% de polen no deseado. En dicho estudio también se evaluó *E. grandis*; que tuvo a su vez un 5,5% de contaminación en flores no aisladas (Russell et al. 2001). Esto se consideró aceptable para producción de semilla operacional, razón por la cual las flores en algunos programas de mejoramiento genético ya no son aisladas.

Método de Polinización	Set de Cápsulas (promedio) dos temporadas	Semillas/Cápsula año1	Semillas/Cáp año2
Polinización Abierta	30%	20	18
Polinización Controlada Tradicional	17%	14	14
Polinización Controlada OSP	50%	33	22

Tabla 1. Rendimiento de semilla PA vs. OSP en el huerto semillero clonal de Aguadas de Chumulco para *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*.

Las diferencias entre la OSP y la polinización tradicional (distinta forma, de aislar o no, las flores tratadas; una sola visita y el corte al estilo) han significado en la práctica que es posible efectuar cruzamientos sobre un gran número de flores, se maximiza el aprovechamiento de flores de una misma rama y aumenta el número de semillas por cápsula (Harbard *et al.*, 1999; Harbard *et al.*, 2000; Espejo *et al.*, 2001, Ramírez *et al.*, 2001) disminuyendo considerablemente el costo de operación.

Especie	Cruzamiento	NºMadres	Polen spp.	NºFlores	%Cosecha	Semilla/caps
<i>E. globulus</i>	Intraespecífico	86	1	162,000	69	18.4
<i>E. globulus</i>	Intraespecífico	37	1	128,141	74	23.6
<i>E. nitens</i>	Interespecífico	17	4	1,390	10	0.9

Tabla 2. Aplicación de OSP para *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* y *E. nitens*; y rendimientos obtenidos.

Adicionalmente, el set de cápsulas aumenta (90%) con respecto a la polinización con bolsas (60%), por lo cual menos flores han de ser tratadas para obtener el rendimiento de semillas deseado. Sin embargo, la experiencia de aborción de cápsulas en Portugal, Australia y Chile indica que la sobrevivencia promedio de cápsulas es del orden del 50% (Espejo *et al.* 2001; Balocchi *et al.* 2003); lo cual representa un desafío aún por resolver para aumentar la capacidad productiva de la técnica.

3.- Huertos para polinización OSP

Establecimiento y manejo de huertos

Los huertos de polinización controlada producen semilla con mayor ganancia genética, más uniforme y con menor contaminación de polen que la polinización abierta, sin embargo, todavía se utilizan huertos de polinización abierta en la polinización OSP.

Tradicionalmente, la mayor parte de la literatura existente sobre manejo de huertos semilleros pone enorme énfasis en la aleatorización de clones al momento de diseñar y establecer un huerto semillero. Hoy por hoy, gracias a las prácticas de polinización controlada a gran escala esto ya no es necesario. Puesto que la semilla a cosechar proviene de polinización controlada, la disposición de los clones a utilizar es mucho más flexible.

Los huertos OSP pueden diseñarse como bloques monoclonales con un número variable de rametos por clon, dependiendo de la meta final de cosecha de semillas. Esto además

reduce los tiempos de desplazamiento entre un árbol y otro, en comparación a las polinizaciones que se hicieran en un huerto con diseño aleatorizado.

K	E	P	D	W	G	S	Q	J	B
Q	B	J	O	F	M	W	C	K	Ñ
L	Ñ	U	C	R	F	O	T	P	E
H	A	I	V	G	N	I	H	U	L
N	T	X	M	S	V	R	D	A	X
A	B	C	D	E	T	X	C	W	S
F	G	H	I	J	B	Ñ	V	G	M
K	L	M	N	Ñ	P	D	H	A	R
O	P	Q	R	S	F	J	O	L	N
T	U	V	W	X	K	Q	E	U	I

A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V
A	A	H	H	L	L	R	R	V	V

Figura 3.- Dos tipos de diseño de huertos semilleros. El primero (izq.) útil para colecta de semilla polinización abierta. El segundo (der.) más apropiado para minimizar desplazamientos y favorecer la polinización masal OSP. En este último la colecta de semilla polinización abierta pudiese tener un alto porcentaje de endogamia.

El número de rametos totales a ser instalados en el huerto depende de la demanda de semilla total y la productividad de los clones a polinizar. En general, para producir 5 Kg de semilla de *E. globulus*, debiesen realizarse no menos de 150.000 a 200.000 polinizaciones en un total de ~100 rametos (dependiendo del manejo y floración del huerto); e incluyendo los rametos a utilizar como padres, esto puede significar aproximadamente 1/3 ha de huerto a un espaciamiento amplio de al menos 6 x 6 m.

Las condiciones de agua, luz, nutrientes y ambiente debiesen ser óptimas, tal cual se requiere para un huerto polinización abierta.

4.- Época de polinización

La curva de floración de *E. globulus* en Chile va desde Mayo a Diciembre, con peaks en Octubre y Noviembre, por tanto constituye un proceso de 7 meses de duración (Espejo et al. 2001). Esto es consistente con la duración del período en otros ambientes como Australia y Portugal (Gore y Potts, 1995; Leal, 1989); aunque las estaciones, naturalmente, difieren. El período de floración también presenta un alto control genético, lo cual incide en el peak floral de distintas procedencias (Apiolaza et. al. 2001; Mc Gowen et al. 2004). Por ejemplo, las procedencias Australianas de Flinders Island son de floración temprana, mientras que las de King Island son tardías. Esto tiene importantes implicancias tanto para polinización controlada como abierta y deben manejarse al detalle en el ambiente local.

5.- Planificación de la temporada

La adecuada planificación de cada temporada es un factor clave en la maximización de la calidad y el rendimiento productivo de un huerto OSP. Así, para disponer por ejemplo, de polen para los clones que entran en floración al inicio de temporada, éste debiese colectarse durante la temporada anterior en cantidad suficiente para cumplir las metas establecidas.

a) Selección de madres y padres

La selección de clones a utilizar en el programa de cruzamientos debiera hacerse en base al valor genético estimado de los potenciales padres. A partir de un ranking genético basado en habilidad combinatoria general de 1ra Generación podría resultar riesgoso efectuar polinizaciones entre una madre y un polen (full-sibs). Esto por los problemas de endogamia propios del género en su ambiente natural que derivan en estimaciones no totalmente precisas del valor genético real de los padres (Potts *et al.*, 2004). Adicionalmente, existen pocos estudios sobre los efectos genéticos no aditivos y éstos no son consistentes entre poblaciones (Ver Figura 3); por lo cual ésta información constituye hoy por hoy uno de los objetivos de investigación clave para los mejoradores de esta especie.

Population	Trait	Additive (h ²)	Dominance (d ²)	Epistasis (i ²)	Reference
Taranna x King Island, 8x26 F, factorial (5 sites)	Across sites - Volume 2yr	0.08 0.08 ± 0.01 ¹ 0.02 ± 0.01 ²	0.12 0.05 ± 0.03 0.15 ± 0.06		Vaillancourt <i>et al.</i> 1995 Hodge <i>et al.</i> 1996
	5 single sites - DBH 6yr	0.12	0.14		Volker 2002
	- Pilodyn	0.30	0.06		
	Across sites - DBH 6yr - Pilodyn	0.08 ± 0.03 0.25 ± 0.07	0.02 ± 0.02 0.05 ± 0.02		
Portuguese landrace breeding population (RAIZ)	DBH 4yr (5 sites)	0.10 ± 0.04	0.04 ± 0.05	0.004 ± 0.0	Costa e Silva <i>et al.</i> 2004a
	Pilodyn 4yr (2 sites)	0.17 ± 0.07	0.00	0.05 ± 0.06	
Australian breeding population (STBA)	DBH 1-3yr (5 sites)	0.11 ³	0.11		Li <i>et al.</i> unpubl
	Density (3 sites)	0.44 ⁴	0.14		

Tabla 3. Comparación entre efectos genéticos aditivos y no aditivos para *E. globulus* de Potts *et al.*, 2004.

En consecuencia, si no se dispone de estas estimaciones; se recomienda llevar a cabo un programa de testeo de cruzamientos de hermanos completos, a fin de garantizar el adecuado desempeño de la semilla antes de establecerla a mayor escala. Adicionalmente, este programa entrega información muy útil sobre rendimientos y calidad específicos de cada cruce y período de floración por clon.

Si no se dispone de un ranking genético, en tanto éste esté disponible, puede avanzarse hacia la captura de información sobre rendimientos del proceso.

Un buen indicador de rendimiento por madre se refiere a aquél que mejor refleje la máxima producción de semilla limpia por el mínimo número de flores polinizadas. Así, podemos hablar del índice de rendimiento de semillas (IRS) que se define como

$$\text{IRS} = \frac{\text{gramos de semilla limpia}}{1000 \text{ polinizaciones}}$$

Es decir, si obtenemos 4128 g semilla de 173.494 polinizaciones, el IRS = 23.79.

Este índice es, por tanto, una combinación entre tasa de aborción y número de semillas por cápsula. Se considera buen IRS aquéllos mayores a 40 g sem/1000 pol.

Aproximadamente, un 30% de genotipos maternos tienen buen rendimiento como madres OSP. Aquéllos genotipos selectos pero que presentan alta aborción o bajo número de semillas por cápsula pueden integrar el programa OSP como donantes de polen.

El número de madres y de padres a utilizar en un programa OSP depende de las ganancias genéticas de los genotipos selectos, del número de rametos por clon y de la meta de semilla a cosechar.

En general, no es deseable que el número de padres sea muy alto si el promedio total del mix de polen, por ejemplo, es comparable a la polinización abierta. Por otra parte, un alto número de madres y bajo número de rametos podría generar demasiada variabilidad en plantaciones, cuando lo que se desea en realidad es reducirla.

Para un programa de plantación anual traducido en 5 Kg. de semilla OSP por año, 6 a 10 madres con 40 a 60 rametos cada uno (con 20.000 yemas disponibles por rameto); debiese sustentar 400.000 a 600.000 polinizaciones en la temporada. Esto por que normalmente sólo el 50% de las yemas totales son efectivamente polinizables.

b) Monitoreo fenológico

El monitoreo fenológico de los distintos clones en un mismo sitio, o idealmente, en varios sitios, permite entender el comportamiento reproductivo del material de interés, entrega información sobre la época y duración del periodo de floración, la cantidad y momento de formación de flores y frutos, la eventual pérdida de yemas y frutos y permite estimar el éxito en la polinización y los Kg. de semilla a ser cosechados.

Este monitoreo debiese realizarse sobre clones con y sin polinización controlada, mínimo cada 15 días, considerando los posibles ambientes de huertos, otras especies y un número de rametos no inferior a tres por clon y sitio. Pueden muestrearse ramas dentro de rametos/clones, las cuales deben ser marcadas en forma permanente por un período no inferior a la floración completa de la especie desde la aparición de yemas florales hasta el conteo individual de semillas por cápsula.

Mediante este monitoreo, es posible elaborar curvas de floración para las especies en distintos sitios y temporadas, que son posteriormente utilizadas en la temporada de operacional de cruzamientos (Figura 3).

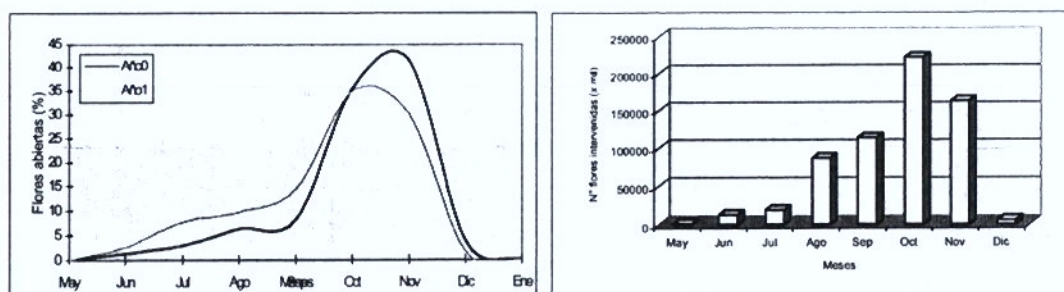


Figura 4.- Patrón de floración de *E. globulus* (izq.) en dos temporadas sucesivas y gráfico de flores polinizadas por mes en una temporada de cruzamientos OSP en Chile, VIII Región. (de Espejo et al. 2001).

c) Planificación de la colecta de polen

La colecta de polen es una etapa muy importante del programa de cruzamientos controlados y requiere cierto grado de planificación. Debe, por ejemplo, disponerse de

polen de la temporada anterior para polinizar los primeros clones en floración de la temporada en curso (Espejo et al 1996). Lo cual en la práctica significa contar con un buen sistema de inventario, almacenamiento y evaluación de polen en laboratorio.

La gran cantidad de polinizaciones a efectuar en una temporada, significa llevar un programa de colecta de polen en paralelo.

En general, Los gramos de polen utilizados para polinizar 1000 flores van de 0,4 a 0,5 g. Mientras que para la colecta de polen, cada flor aporta del orden de 0,02 g polen, dependiendo de la flor y del momento y método de extracción.



Figura 5.- Aplicación de polen mediante OSP en *E. globulus* utilizando corte longitudinal y mondadientes para aplicación al estilo.

Así, para realizar 500,000 polinizaciones, debemos utilizar 250 g de polen en toda la temporada, lo que a su vez significa procesar cerca de 12,000 flores. Como recomendación, al menos la mitad de este stock debiese colectarse en la temporada anterior, para polinizar los clones que entran primero en floración.

6.- Productividad de la faena

La productividad de la faena está en directa relación con el número de yemas disponibles para polinizar. Pero existiendo un gran número de yemas, normalmente en una hora pueden tratarse 50, 100, hasta 120 flores/hora-hombre (Tabla 4). Sin embargo hay mucho por mejorar en estos rendimientos, especialmente con nuevas técnicas de polinización sin aislación (aprox. 150 flores/hora) ni emasculación (aprox. 200 flores/hora) (Figura 4). Esto depende también del grado de experiencia de los polinizadores, métodos de llegada a la flor (escaleras, grúas hidráulicas, plataformas), entre otros.

7.- Colecta y procesamiento de semillas

Las cápsulas tratadas mediante OSP son fácilmente distinguibles de aquellas derivadas de polinización abierta pues las cápsulas OSP exhiben una cicatriz en la parte superior producto del corte al anillo calicinal que la polinización abierta no tiene.

La cosecha puede concentrarse entre Agosto y Septiembre, para dejar el peak de las polinizaciones para Octubre y Noviembre a Diciembre, dependiendo del patrón floral.

Método de Polinización	Costo relativo (%) semilla
Tradicional	100
OSP 1997	6,25
OSP 1998	5,5
OSP 1999	0,7

Tabla 5. Disminución del costo de semilla OSP para *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*.

8.- Nuevos métodos

a) AIP . Protoginia Artificialmente Inducida, se desarrolló en Brasil para *Eucalyptus* de flores pequeñas (de Assis, 2002; de Assis, 2005 comunicación personal).

Se le denomina así pues estimula la maduración sexual del estigma antes que los estambres (en el caso natural de *Eucalyptus*, el sistema sexual es Protándrico) y se caracteriza por no requerir ni aislamiento ni emasculación. Se lleva a cabo mediante un corte transversal de la parte superior del opérculo dejando expuesto una sección del estilo a la cual se aplica el polen inmediatamente después del corte.

Se ha probado también en cruzamientos Inter-específicos con muy buenos resultados, por ejemplo, *E. grandis* x *E. smithii* y *E. macarthurii* y tiene la ventaja de ser más rápido que el método OSP, más barato y con mayor productividad de semillas (Cassim et al., 2004).

b) Polinización suplementaria.

Otra técnica recientemente implementada en *Eucalyptus globulus* en Australia es la de Polinización Suplementaria (Patterson et al. 2004). Con este sistema es posible polinizar sin emasculación ni aislar la flor tratada, lo cual podría reducir en un 48% los tiempos dedicados a estas labores con respecto a la técnica OSP (Figura 4). De acuerdo con este estudio, la tasa de endogamia llegó a un 4,8% y se determinó que un 86,9% que la progenie del padre deseado contenía la enzima marcadora del padre selecto. Esto resulta altamente atractivo para polinización operacional, pues las ganancias de polinización suplementaria sobre polinización abierta pueden aumentar entre un 5% a un 15% en volumen.

7.- Colecta y procesamiento de semillas

Las cápsulas tratadas mediante OSP son fácilmente distinguibles de aquellas derivadas de polinización abierta pues las cápsulas OSP exhiben una cicatriz en la parte superior producto del corte al anillo calicinal que la polinización abierta no tiene.

La cosecha puede concentrarse entre Agosto y Septiembre, para dejar el peak de las polinizaciones para Octubre y Noviembre a Diciembre, dependiendo del patrón floral.

Método de Polinización	Costo relativo (%) semilla
Tradicional	100
OSP 1997	6,25
OSP 1998	5,5
OSP 1999	0,7

Tabla 5. Disminución del costo de semilla OSP para *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*.

8.- Nuevos métodos

a) AIP . Protoginia Artificialmente Inducida, se desarrolló en Brasil para *Eucalyptus* de flores pequeñas (de Assis, 2002; de Assis, 2005 comunicación personal).

Se le denomina así pues estimula la maduración sexual del estigma antes que los estambres (en el caso natural de *Eucalyptus*, el sistema sexual es Protándrico) y se caracteriza por no requerir ni aislamiento ni emasculación. Se lleva a cabo mediante un corte transversal de la parte superior del opérculo dejando expuesto una sección del estilo a la cual se aplica el polen inmediatamente después del corte.

Se ha probado también en cruzamientos Inter-específicos con muy buenos resultados, por ejemplo, *E. grandis* x *E. smithii* y *E. macarthurii* y tiene la ventaja de ser más rápido que el método OSP, más barato y con mayor productividad de semillas (Cassim et al., 2004).

b) Polinización suplementaria.

Otra técnica recientemente implementada en *Eucalyptus globulus* en Australia es la de Polinización Suplementaria (Patterson et al. 2004). Con este sistema es posible polinizar sin emasculación ni aislar la flor tratada, lo cual podría reducir en un 48% los tiempos dedicados a estas labores con respecto a la técnica OSP (Figura 4). De acuerdo con este estudio, la tasa de endogamia llegó a un 4,8% y se determinó que un 86,9% que la progenie del padre deseado contenía la enzima marcadora del padre selecto. Esto resulta altamente atractivo para polinización operacional, pues las ganancias de polinización suplementaria sobre polinización abierta pueden aumentar entre un 5% a un 15% en volumen.

REFERENCIAS

- Apiolaza, L.A., Potts, B.M. and Gore, P.L. 2001. Genetic control of peak flowering time of *Eucalyptus globulus*. In: Developing the Eucalypt of the Future. Proc. IUFRO Conference, Valdivia, Chile, Septiembre 2001.
- Balocchi, C., Fuentealba, E. y Ordóñez, J. 2003. Estrategias de mejoramiento genético en *Eucalyptus globulus*: Optimización de ganancias vía reproducción sexual. CAMCORE Annual Meeting 2003.
- Cassim, T., Stanger, T. and Johnson, S. 2004. comparison of three controlled pollination techniques in *Eucalyptus* (symphyomyrtus). In Borralho, N., et al. (2004). *Eucalyptus in a Changing World*. Proc. of IUFRO Conf., Aveiro 11-15 October 2004.
- de Assis, T. (2002). CAMCORE Annual Meeting 2002, South Africa.
- Espejo, J., Ipinza, R y Potts, B. 1996. Manual de Cruzamientos Controlados para *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden y *Eucalyptus globulus* (Labill). Valdivia. Cooperativa de Mejoramiento Genético, Universidad Austral de Chile, Cooperative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry y Forestal y Agrícola Monteáguila S.A.
- Espejo, J., Harbard, J., and Griffin, A.R. 2001. Consideraciones operacionales de cruzamientos controlados masales (OSP) de *Eucalyptus globulus* (labill) en cuatro temporadas en Forestal y Agrícola Monteáguila S.A. In: Developing the Eucalypt of the Future. Proc. IUFRO Conference, Valdivia, Chile, Septiembre 2001.
- Gore P.L. and Potts, B.M. 1995. The genetic control of flowering time in *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* and their hybrid. In: Improving Fibre Yield and Quality. Proc. IUFRO Conference, Hobart, Australia, pp 241-242.
- Griffin, A.R. 2001. Deployment Decisions - Capturing The Benefits Of Tree Improvement With Clones And Seedlings. In: Developing the Eucalypt of the Future. Proc. IUFRO Conference, Valdivia, Chile, Septiembre 2001.
- Griffin, A.R. 1988. Sexual Reproduction and Tree Improvement Strategy – With Particular Reference to *Eucalyptus*. In: Breeding Tropical Trees: Population Structure and Genetic Improvement Strategies In Clonal and Seedling Forestry. Proc. IUFRO Conference, Pattaya, Thailand, November 1988. (Gibson, G.L., Griffin, A.R. and Matheson, A.C. eds.). Oxford Forestry Institute, Oxford, United Kingdom and Winrock International, Arlington, Virginia, USA. 1989.
- Harbard.J.L., Griffin.A.R., Espejo J., Centurion.C., and Russell J. 2000. "One Stop Pollination" A new technology development by Shell Forestry Unit. In "Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees". Proceedings of QFRI/CRC-SPF. Noosa, Queensland. Australia, pp 430-434.

- Harbard, J.L.; Griffin, A.R. and Espejo, J.E. 1999. Mass Controlled Pollination of *Eucalyptus globulus*: a practical reality. *Can. J. of For. Res.* 29:1457-1463.
- Leal, A.M. 1989. Estudio de hibridacao em *Eucalyptus globulus* Labill – 5 anos de atividade. Informe Interno CELBI, 28 p.
- McGowen, M., Potts, B., Vaillancourt, R., Gore, P., Williams, D. and Pilbeam, D. 2003. the genetic control of sexual reproduction of *Eucalyptus globulus*. In Borralho, N., et al. (2004). *Eucalyptus in a Changing World*. Proc. of IUFRO Conf., Aveiro 11-15 October 2004.
- Patterson, B., Gore, P., Potts, B.M. and Vaillancourt, R.E. (2004) Advances in pollination techniques for large-scale seed production in *Eucalyptus globulus*. *Aust. J. Bot.* 52, 781-788.
- Potts, B.M., Vaillancourt, R.E., Jordan, G., Dutkowski, G., Costa e Silva, J., McKinnon, G., Steane, D., Volker, P., Lopez, G., Apiolaza, L., Li, Y., Marques, C. and Borralho, N.M.G. 2004. Exploration of the *Eucalyptus globulus* gene pool. In Borralho, N., et al. (2004). *Eucalyptus in a Changing World*. Proc. of IUFRO Conf., Aveiro 11-15 October 2004.
- Ramírez de Arellano, P., Zapata, J., Contardo, C., Rojas, P., Balocchi, C. y Ordóñez, J. 2001. Optimización de la metodología para la producción operacional de semilla de cruzamientos controlados de *Eucalyptus globulus*. In "Developing the Eucalypt of the Future" Proc.Conf. IUFRO Valdivia, Chile: Sept10-15 2001.
- Russell J., Marshall D, Griffin A.R, Harbard J and Powell W. 2001. Gene Flow in South American *Eucalyptus grandis* and *E globulus* Seedling Seed orchards. In "Developing the Eucalypt of the Future" Proc.Conf. IUFRO Valdivia, Chile:Sept 10-15 2001.



ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE HUERTOS SEMILLEROS

Fernando Droppelmann F.
fdroppel@uach.cl 63-221436

HSC (Huerto Semillero de Clones)

Objetivo:

Producción máxima de semillas, con la
máxima ganancia, tan rápida y
eficientemente como sea posible.
(tiempo es clave, \$\$\$)

ZOBEL, B. y J. TALBERT. 1984. Applied Tree Improvement. Wiley.
New York. 521p

ZOBEL, B. Y TALBERT, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de
árboles forestales. Traducido por Manuel Guzmán Ortiz. Editorial Limusa,
Mexico. 545 p.

Localización – selección de sitio

- ◆ Ubicación geográfica – ambiente adecuado
para máxima producción de semillas
- ◆ Facilidades existentes (disponibilidad de
infraestructura y mano de obra)
- ◆ Accesibilidad
- ◆ Futuras obstrucciones (minas, caminos, etc)
- ◆ Superficie para futuros desarrollos
- ◆ Aislación de plantaciones misma sp. Uso
cortinas cortavientos.

- ◆ Terreno con escasa pendiente
- ◆ Buen drenaje del aire (evitar heladas)
- ◆ Suelo con textura franco arenoso a arcilloso arenoso, estructura con horizonte "A" de 25-35 cm de espesor sobre suelo de fácil ruptura
- ◆ Fertilidad media. Posibilita manipulación nutricional. pH 5,5 a 6,5
- ◆ Disponibilidad de agua para riegos y control de incendios
- ◆ Ex terrenos agrícolas son en general buenos

Establecimiento

- ◆ Analisis químico y físico de suelo
- ◆ Eliminación de malezas (agroquímico)
- ◆ Subsulado y cultivo de suelo. Depende de cada condición.
- ◆ Monumentación de bloques
- ◆ Plantación en cruce de subsulado
- ◆ Caseta meteorológica

Manejo

- ◆ Fertilización (salud, crecimiento de copas, estimulación de floración).
Evitar incompatibilidad
- ◆ Riego
- ◆ Control de malezas (corte, herbicidas).
Nunca con animales
- ◆ Hormonas para estimular floración

- ◆ Subsolado con disco. Mejorar estructura, drenaje, proliferación de raíces superficiales y profundización
- ◆ Manejo de copas. Depende de la especie
- ◆ Control de plagas
- ◆ Raleos sanitarios. Luminosidad.
- ◆ Depuración genética (10 a 15 clones)

Información importante (clon – rameto)

- ◆ Fecha de propagación
- ◆ Estado de vigor (incompatibilidad)
- ◆ Floración (inicio, cantidad, días de receptividad y liberación de polen)
- ◆ Producción de semillas:
 - cantidad
 - periodo de maduración
 - parametros de calidad de semilla
 - susceptibilidad a enfermedades
- ◆ Tasa de autofertilidad

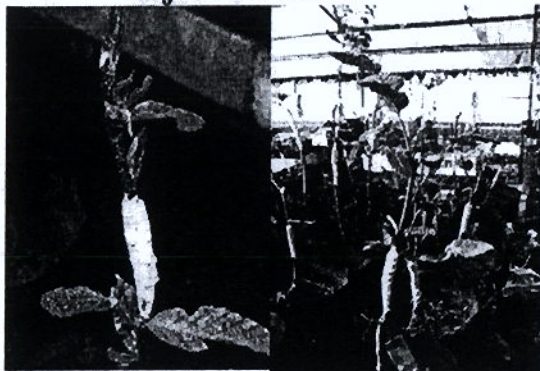
Injertos *P. radiata*



Injertos E. globulus



Injertos Raulí





1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21

7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																													
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																														
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																															
32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																	
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																		
35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																			
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																				
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																					
38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																						
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																							
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																								
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																									
42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																										
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																											
44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																												
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																													
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																														
47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																															
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																	
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																		
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																			
52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																				
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																					
54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																						
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																																																																																				

Huerto 1.5: F. Valdivia

A black and white photograph showing a dirt road or path leading through a rural landscape. Two people are walking on the path, one further ahead than the other. The path is flanked by a low fence or barrier. In the background, there is a dense line of trees and a cloudy sky. The overall scene is somewhat dark and grainy, typical of older film photography.

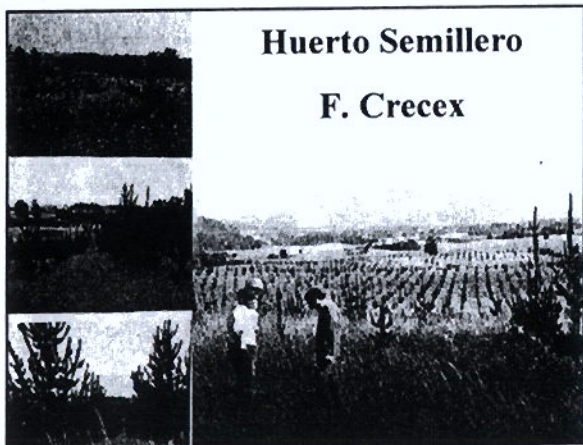
Aislación



Huerto 1.0: CONAF VIII



**Huerto Semillero
F. Crecex**



H. Semilleros E.globulus



H. Semillero E. globulus: F. Probosque



Efecto de las heladas



H. Semilleros E.globulus: E. Los Lagos



Manejo H. Semilleros

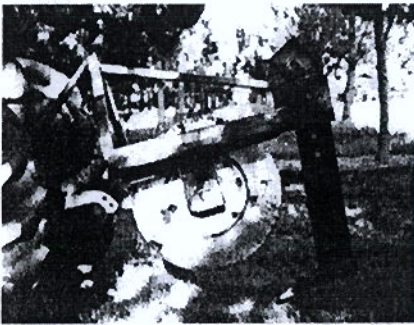


**H. Semilleros P.radiata:
Incompatibilidad**



Manejo H. Semilleros









Manejo H. Semilleros



Huertos Semilleros: Cosecha Conos



Huertos Semilleros: Cosecha Conos



Manejo H. Semilleros



Depuración

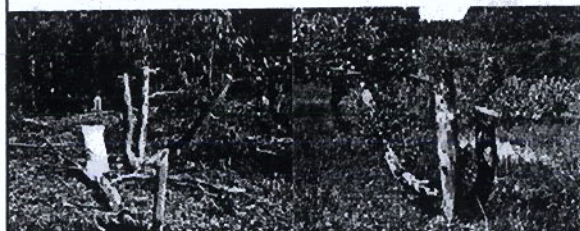
Manejo H. S.C. Probosque



Manejo HSC Las Violetas – F. Probosque Ltda.

16 – sep - 2006

27 – enero - 2006



4 meses

Huerto Cruzamientos (HSPC)



Localización – selección de sitio

- ◆ Similar a HSC

Establecimiento

- ◆ Similar a HSC
- ◆ No se usa diseño STP, se usan hileras clonales

Manejo

- ◆ Similar a HSC pero aquí es fundamental manejar las copas
- ◆ Fácil acceso al personal para realizar los cruzamientos.
- ◆ Maximizar eficiencia. Cantidad y bajos costos de semillas de cruza controladas.
- ◆ Ideal manejar hileras en forma rotativa, especialmente con los Pinos



INICIO DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENETICO

Fernando Droppelmann F.
fdropper@uach.cl
Cooperativa de Mejoramiento Genético
Universidad Austral de Chile

En el inicio de un programa de mejoramiento genético forestal normalmente se opta por varios sistemas que permiten obtener material para plantación en el corto, mediano y largo plazo.

En el corto plazo se utilizan los Arboles Semilleros (AS). Consiste en seleccionar individuos fenotípicamente superiores con el fin de colectar semilla a escala comercial. Normalmente se seleccionan entre 20 a 50 árboles/ha, considerando aspectos de volumen, rectitud, forma de la copa, calidad de ramas (ángulo y diámetro) y sanidad. La cosecha de la semilla se realiza junto con la cosecha del bosque, previa marcación de los árboles, no obstante el mejor método es escalar los árboles por cuanto se mantiene un mejor control del material colectado

La semilla por lo tanto es de madre seleccionada pero el polen proviene de cualquier árbol del rodal. Las ganancias estimadas son de 3-5%.

Para el abastecimiento de semilla a mediano plazo se utilizan las Areas Productoras de Semillas (APS), en cuyo caso la selección se hace tanto para la madre como para el padre. El sistema consiste en ralear intensivamente un rodal de buena calidad dejando entre 200 a 300 arb/ha para que se crucen libremente. Dependiendo de la especie en cuanto a su desarrollo y fenología será el plazo necesario de esperar para disponer de semilla mejorada.

Es importante que los rodales que se utilizan para las APS sean los mejores y de preferencia aislados de otros rodales de la misma especie. Si ello no es posible se debe dejar una zona perimetral de aislación de 80 a 100 m con una densidad de 400 a 600 arb/ha que nunca se cosecha.

Los sistemas de cosecha de la semilla es bastante variado, las hay aquellas que se cortan y nunca más se utilizan, otras que se cosechan todos los años usando métodos de escalamiento y otras que tienen superficie rotativa de corta. Las especies con buena rebrotación de tocón son ideales para trabajarlas con el concepto de rotatividad.

Las APS tienen una ganancia estimada de 5-8 % en volumen. El valor dependerá de la calidad del rodal elegido, la intensidad del raleo y el periodo de espera entre el raleo y la cosecha.

Para el denominado largo plazo el sistema utilizado son los Huertos Semilleros que se constituyen a partir de la selección de Arboles Plus (AP). Por lo tanto el Huerto Semillero es un área donde se reúnen individuos fenotípicamente, que por lo tanto son supuestamente superiores, para permitir el libre cruzamiento entre ellos y producir semilla de alta calidad genética.

La intensidad de selección para formar los Huertos Semilleros es bastante más alta respecto al los métodos anteriores, para Pino radiata en Chile se utilizó 1 cada 80.000 a 100.000 árboles (uno cada 80 a 100 ha), sin embargo dependiendo de la estrategia del programa se han usado en

otras especies 1 cada 5 ha o uno cada 10 ha. Normalmente los Huertos Semilleros derivan de la selección de 40 a 60 Árboles Plus. Dependiendo del sistema de propagación se generaran Huertos Semilleros de Semillas (HSS) o Huertos Semilleros de Clones (HSC).

Los **HSS** provienen de las semillas que se colectan del AP en terreno, por lo tanto son familias de medios hermanos en que la madre es el AP seleccionado y el padre cualquier otro árbol del rodal. La semilla se viveriza y posteriormente se planta en algún sitio representativo del patrimonio de la empresa, utilizando un diseño en hileras u otro en que cada árbol constituye una parcela (single tree plot).

Los **HSC** se constituyen a partir de la reproducción vegetativa de los AP u ortet, normalmente a través de injertos. En este caso en el HSC se colocan múltiples copias de los AP, conservando el 100% del genotipo de los árboles seleccionados. Normalmente se utiliza un diseño STP para su establecimiento, cuidando de que en bloques vecinos no queden rametos pertenecientes al mismo clon para disminuir la probabilidad de autocruzamientos.

Los HSC deben localizarse en el mejor lugar que exista para producir semillas tanto en plazo como en cantidad. La calidad de la semilla dependerá básicamente de la rigurosidad con que se seleccionaron los AP, la experiencia a demostrado que la ganancia de un Huerto Semillero de Clones (**HSC**) es entre 10 a 15 %, valores que aumentan al utilizar solamente la semilla de los mejores clones del Huerto y con las depuraciones que progresivamente se realizan con la información proveniente de los Ensayos de Progenie.

La calidad de la selección de los Árboles Plus condicionan la calidad de los Huertos y la base genética de los programas sobre la cual se realizan todas la inversiones futuras. Para asegurar dicha calidad y aumentar la eficiencia de la selección deben considerarse los siguientes medidas:

- elegir los mejores rodales para realizar la selección (constitución genética más adaptada)
- Que los rodales sean lo más uniformes posibles en cuanto edad, espaciamiento, micro sitios, etc. Al uniformar las condiciones existe más probabilidad de que el árbol más destacado lo sea por constitución genética y no por ventajas ambientales. Por estas razones normalmente las selecciones en plantaciones son más eficientes que en bosques nativos.
- Utilizar árboles de comparación para eliminar variaciones ambientales. Normalmente el método consiste en comparar el candidato con los mejores 5 árboles que se encuentran dentro de un radio de 20 m.
- Restringir la selección a pocos caracteres ya que existe una correlación negativa entre el número de caracteres y la eficiencia de la selección, contrastando el árbol candidato con los mejores.

A continuación se entregan las pautas de selección del programa de *Pinus radiata* y otra de *Eucalyptus globulus* que se construyó para el desarrollo de una raza tolerante al frío. Además se entrega un formulario que se ha utilizado para la selección de *Nothofagus alpina* (Raulí, especie nativa chilena). Cada pauta se ajusta a los objetivos del programa y a la especie, por ejemplo en el caso de Raulí se agrega como variable la altura fustal (comienzo de copa).



PAUTA TECNICA N° 5.1 1999

PAUTA PARA LA SELECCION DE ARBOLES PLUS DE PRIMERA GENERACION EN

BOSQUES DE *Pinus radiata*

La selección de árboles "plus" es la fase más importante de un Programa de Mejoramiento Genético, ya que el conjunto de árboles seleccionados será la base de las futuras generaciones de bosques y sobre los cuales se harán todas las inversiones del Programa.

La búsqueda de estos árboles debe hacerse en forma sistemática en los mejores rodales, mayores de 16, que estén disponibles en la región de operaciones.

En general, los árboles deben cumplir los siguientes requisitos

- 1.- Encontrarse en rodales coetáneos de densidad uniforme.
- 2.- Ser dominante (excepcionalmente codominantes).
- 3.- Diámetro superior al promedio del rodal.
- 4.- Fuste recto y cilíndrico.
- 5.- Copa de diámetro pequeño y balanceada.
- 6.- Poseer ramas cortas, de poco diámetro y de ángulo de inserción en el fuste lo más cercano a 90°.
- 7.- Poseer pocos conos en el fuste.
- 8.- Presentar una buena tolerancia a enfermedades, deficiencias y plagas.
- 9.- Propiedades tecnológicas de la madera adecuadas, según sean las necesidades.
- 10.- No debe ser un árbol borde.

Una vez localizado un árbol que reúna estos requisitos, debe ser comparado con los 5 mejores árboles que se encuentren dentro de un radio aproximado de entre 20 y 50 m de él, lo cual dependerá de la calidad y condiciones generales del área.

Se debe considerar que en rodales manejados la variación fenotípica entre el árbol candidato y los de comparación es menor, por esta razón los esfuerzos se deben concentrar en el criterio de superioridad en volumen. Dentro de este razonamiento lo más importante es evitar la selección en los bordes del rodal.

NOTA: De existir dudas referentes a la edad del candidato y/o de los árboles de comparación se deben extraer tarugos para su determinación.

La valoración de las características o variables cualitativas más los promedios obtenidos de las mediciones hechas en los 5 "árboles de comparación", son confrontadas con los valores del "candidato" y se asigna el puntaje a cada característica para la cual se está seleccionando, como lo indica el **Formulario para Selección de Árboles Plus** adjunto.

En caso que se esté trabajando en terrenos de fuerte pendiente, los árboles de comparación deben localizarse de preferencia en la curva de nivel o donde el suelo sea de mejor calidad, lo cual generalmente ocurre cuesta abajo. Con esto se evita sobreestimar el valor del árbol candidato debido a razones de sitio.

Dada la intensidad de selección que se utiliza es muy poco probable tener problemas de parentesco pero de presentarse el caso de tener 2 ó más candidatos en un sector reducido del mismo rodal, se deberá tomar las medidas posibles para aclarar esta duda, como comparaciones morfológicas (conos, ángulo de inserción de ramas, etc.) o análisis enzimáticos.

Si finalmente se decide evaluar la superioridad de estos candidatos cercanos, se deberá evitar las comparaciones recíprocas. En todo caso, de presentarse una situación en que en un área reducida existan muchos individuos sobresalientes con respecto a la media del rodal, es muy probable que se deba a un efecto ambiental.

Como la selección se basa en la apariencia externa de los árboles (fenotipo). Para la selección de ciertos caracteres, especialmente en los relacionados con la calidad, se debe ser lo más objetivo y crítico de acuerdo a pautas preestablecidas. Recuerde que este será el material base del programa y si se desea obtener ganancias útiles esta metodología debe ser muy estricta y consecuente.

Una vez que un árbol candidato ha sido definitivamente seleccionado, se le asignará un número el que se deberá marcar con pintura en dos caras opuestas del tronco a una altura visible. Del mismo modo, se deberán marcar los árboles de comparación con números correlativos definitivos del 1 al 5 correspondientes a los anotados en el Formulario.

El número asignado a los "árboles plus", identificará permanentemente al material de semillas o estaquillas (generativo o vegetativo respectivamente), que se obtenga de estos árboles y una vez que se sancione se transformará en el código único, el cual registrará el programa y generación del material.

Referente al uso del formulario adjunto, es conveniente anotar toda la información que en él se detalla -incluido el croquis de ubicación del candidato y

árboles de comparación-, para más tarde poder elaborar los datos de cada árbol y encontrarlo nuevamente en el terreno con facilidad y rapidez.

Los árboles "plus" seleccionados deberán permanecer en pie, junto con los de comparación y algunos otros (para evitar derribos por viento), por el tiempo necesario para que de éstos se colecte las semillas y púas necesarias.

GUIA DE PUNTAJE

1. Fundamentos y Supuestos:

- La selección de árboles plus es la actividad más importante de un Programa de Mejoramiento Genético.
- **La puntuación del candidato para todas y cada una de las características debe ser calculada en términos relativos a los árboles de comparación con el objetivo de cuantificar la plusvalía del candidato.**
- Los efectos ambientales deben ser corregidos al máximo, para ello es adecuado definir que el área de acción sea homogénea, antes de decidir el radio de acción a utilizar.
- Cada característica debe ser ponderada según su importancia, esto es especialmente válido cuando los objetivos son muy específicos dentro de un programa.
- La certeza de la selección aumenta con la edad del bosque, de ahí que se sugiera buscar rodales próximos a la edad de rotación.
- El árbol seleccionado debe poder ser propagado tanto vegetativa como generativamente.

2. Variables cuantitativas.

Estas características son las que nos muestran la superioridad del crecimiento del individuo, que a través de la altura y el diámetro nos refleja exactamente el potencial volumétrico del candidato. Estas deben ser medidas, tanto en el árbol candidato como en los de comparación.

2.1 Altura

Determinar la razón de altura mediante la siguiente fórmula:

$$A = (H_s / H_c) * 100 - 100$$

donde: **Hs:** Altura candidato.
 Hc: Altura media 5 árboles de comparación.

La razón de las alturas es luego convertida a puntaje mediante la siguiente escala:

SUPERIORIDAD EN ALTURA	EDAD (*) HASTA 20 AÑOS	EDAD 20 a 30 AÑOS
Menos de 10%	0	0
10 % - 11%	1	2
12 % - 13%	2	3
14 % - 15%	3	4
16 % - 17%	4	5
18% - 19%	5	7
20 %	6	8
Mayor a 20%	7	9

INFERIORIDAD: Si el árbol candidato es peor que el promedio de los árboles de comparación, se deducirán puntos con la misma escala como ellos son designados cuando el candidato es superior.

2.2 Volumen

Determinar el radio de volúmenes por las fórmulas:

$$V = (V_s / V_c) * 100 - 100$$

donde: **Vs:** Volumen candidato (según función o D^2H).
Vc: Volumen medio 5 árboles de comparación.

SUPERIORIDAD: Por cada 10% de exceso de volumen del candidato sobre los 5 árboles de comparación se asigna 1 punto extra.

INFERIORIDAD: Por cada 10% inferior de volumen del candidato respecto de los 5 árboles de comparación se restan 3 puntos.

2.3 Peso específico

Cuando el interés sea la densidad de la madera, se deben extraer muestras con taladros incrementales de 12 mm al DAP en dos puntos opuestos del fuste, tanto en el candidato como en los árboles de comparación.

El puntaje se asignará en forma similar y con los mismos valores que en el caso de volumen. La razón de esto es que el rendimiento pulpable es producto del volumen y de la densidad ($R_p = Vol * Db$).

3. Variables cualitativas

3.1 Copa

Para ser juzgada subjetivamente desde el punto de vista del candidato con los 5 árboles, considerando radio de la copa, tamaño del tronco, competencia bajo la cual ha crecido el árbol, conformación de la copa y dominancia balanceada.

Rango de calificación: De -3 a 3 puntos.

El puntaje del candidato se asigna de la siguiente manera:

- 3: Copa mucho más grande y desbalanceada que el promedio
- 2: Copa mucho más grande que el promedio
- 1: Copa más grande que el promedio.
- 0: Copa promedio.
- 1: Copa más pequeña que el promedio.
- 2: Copa mucho más pequeña que el promedio.
- 3: Copa mucho más pequeña y balanceada que el promedio.

3.2 Rectitud

Siendo una de las variables cualitativas de importancia en la toma de decisión, se debe tener claridad en definir si un árbol es o no es recto y verificar que esto no haya sido alterado por efectos externos como daños durante el control de malezas, daño mecánico producto de viento en etapas juveniles, etc. Cualquiera sea el caso, bajo estas circunstancias se aceptará una torcedura basal leve hasta 1.0 metro desde el suelo.

Restricciones:

- a) No se aceptarán árboles torcidos en dos planos.
- b) Tampoco se aceptarán árboles torcidos en un plano que no permita una proyección del punto más alto del fuste comercializable a la base del árbol.

Rango de calificación: De 1 a 4 puntos.

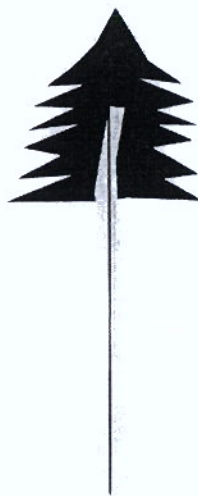
El puntaje del candidato se asigna de la siguiente manera:

- 1: Arbol con torceduras más que leves que impiden proyectarse hasta su
ápice a través del fuste.
- 2: Arbol recto, con más de una leve torcedura.
- 3: Arbol recto, con una leve torcedura.
- 4: Arbol perfectamente recto.

C A T E G O R I A S D E R E C T I T U D



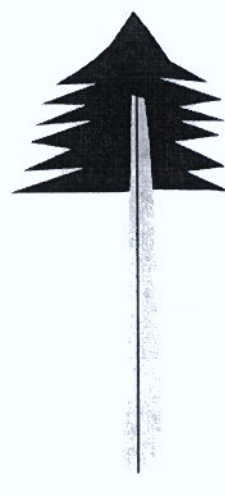
1



2



3



4

3.3 Diámetro de ramas

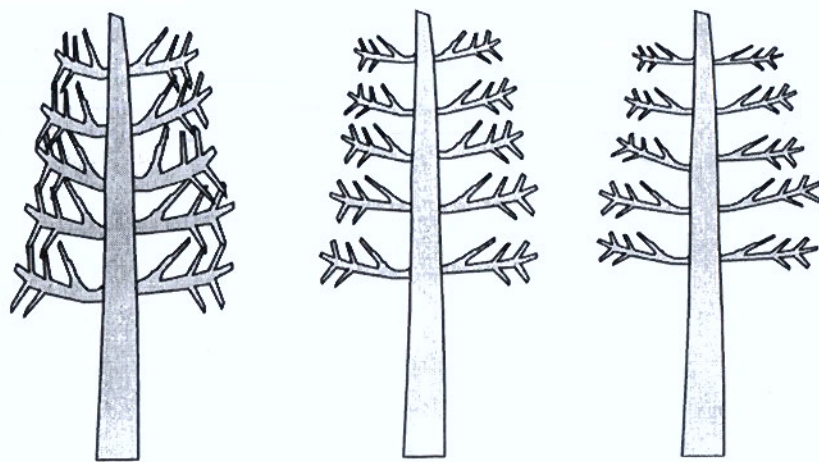
Rango de calificación: De -2 a 2 puntos.

La medición se hace con respecto a los árboles de comparación. El puntaje del candidato se asigna de la siguiente manera:

- 2: Diámetro muy superior al promedio.
- 1: Diámetro moderadamente superior al promedio.
- 0: Diámetro promedio.
- 1: Diámetro moderadamente inferior al promedio.
- 2: Diámetro muy inferior al promedio.

Nota: Si los DAP de los árboles de comparación son similares a los del candidato, entonces la comparación de ésta característica es directa. En caso contrario éste se debe realizar en términos relativos al DAP, vale decir, la relación entre el diámetro de ramas y el DAP, en terminos generales es proporcional, por lo tanto debemos ser muy cuidadosos al momento de asignar la calificación de la característica.

CATEGORIAS DE DIÁMETRO DE RAMAS



-2 → -1 → 0 → 1 → 2

3.4 Angulo de ramas

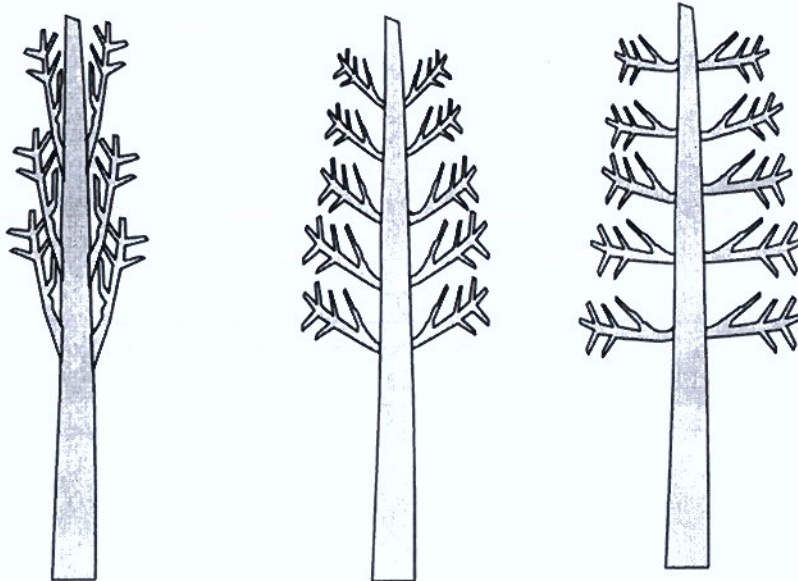
Para ser calificada respecto de los árboles de comparación.

Rango de calificación: De -2 a 2 puntos.

El puntaje del candidato se asigna de la siguiente manera:

- 2: Angulo muy cercano a 0°
- 1: Angulo cercano a 0°
- 0: Angulo promedio.
- 1: Angulo cercano a 90°
- 2: Angulo muy cercano o igual a 90° .

CATEGORIAS DE ÁNGULO DE INSERCIÓN DE RAMAS



-2 → -1 → 0 → 1 → 2

MECANISMO DE TOMA DE DECISIÓN

Una vez que se ha completado la pauta con la totalidad de la información, se procede a la sanción definitiva del árbol candidato. Para esto se considera cada una de las variables ponderadas según sea el objetivo del programa. Por ejemplo, si el interés es madera aserrada, lo principal será volumen que, a su vez, deberá ser asociado a calidad de ramas y rectitud o forma del árbol.

Sin dudas esta fase de la selección marca la calidad de un programa, por esta razón es que la decisión debe ser muy objetiva, sin presiones de rendimiento o metas que desvirtúen la finalidad de la faena.

En términos simples la decisión se toma en terreno de acuerdo al siguiente procedimiento:

- 1.- Verificar durante la presanción que las mediciones sean correctas y los árboles de comparación sean los adecuados. Se entenderá por presanción la recepción de faena que realiza el encargado de programa y donde se decidirá cual material pasa a la fase de sanción.
- 2.- Tener registros completos y claros durante la sanción. La sanción se refiere al destino final que se dará al material de acuerdo a las pautas por parte de la Dirección de la Cooperativa.
- 3.- Cuantificar la superioridad real del individuo selecto de acuerdo a la situación en la que se encuentre. Se debe evitar comparaciones con otros candidatos visitados para no sesgar la decisión.
- 4.- Tener claro los objetivos que la empresa tiene respecto del material que está seleccionando (Por ejemplo madera aserrada, pulpa, densidad de la madera).
- 5.- La decisión respecto de la superioridad de un candidato debe ser en su conjunto, ponderando la variable volumen en primer lugar, pero sin descuidar otras, como rectitud o eficiencia de copa. No será válido un candidato de mucho volumen pero que presenta copa viva en más de 2/3 del árbol o es muy amplia, que en parte estaría justificando su superioridad volumétrica.
- 6.- Para que un candidato sea considerado sobresaliente deberá como mínimo tener sobre 15% de superioridad en volumen, complementado con una forma y aspecto lo más uniforme posible.
- 7.- Cuidar que el candidato o los árboles de comparación no se encuentren en una situación de privilegio, como por ejemplo mayor espaciamiento, cercano a una fuente de agua o en la parte baja de una ladera.



FORMULARIO ÁRBOLES PLUS DE *Pinus radiata* (D. Don)

ANTECEDENTES GENERALES

CÓDIGO	
--------	--

EMPRESA	
SELECCIONADOR	
FECHA	
PROVINCIA	
COMUNA	
LOCALIDAD	
PREDIO	
RODAL	
EDAD	

DESTINO	
☐	HUERTO SEMILLERO CLONAL
☐	BANCO CLONAL
☐	EPPA
APROBADO POR	
FECHA	

CROQUIS UBICACIÓN ÁRBOL PLUS Y ARBOLES DE COMPARACIÓN

PARÁMETROS DASOMETRICOS

ÁRBOL	ALTURA (m)	DAP (cm)	VOL (m3ssc)
1			
2			
3			
4			
5			
MEDIA			
CANDIDATO			

(Fórmula tipo para cálculo de volumen $V=0,0086 \times 0,00033D^2H$)

ASIGNACIÓN DE PUNTAJE: ÁRBOL CANDIDATO Y DE COMPARACIÓN

VARIABLES	CANDIDATO	COMP. 1	COMP. 2	COMP. 3	COMP. 4	COMP. 5
ALTURA		///	///	///	///	///
VOLUMEN		///	///	///	///	///
RECTITUD						
COPA						
DIAM.RAMA						
ANG.RAMA						
TOTAL						

OBSERVACIONES:



PAUTA TECNICA N° 5.3 2001

PAUTA PARA LA SELECCION DE ARBOLES PLUS PARA EL PROYECTO DE CLONACION

PROYECTO TOLERANCIA AL FRIO DE

Eucalyptus globulus

Los bosques en que serán seleccionados estos árboles deben estar en sitios sometidos frecuentemente a bajas temperaturas, así se garantiza que los mejores árboles correspondan a los que han resistido de mejor forma el frío.

En caso de que el sitio no corresponda a condiciones de frío (condición que es certificada por la Cooperativa), los árboles que en él se seleccionen no constituirán parte de la población tolerante al frío (no pertenecerán a este proyecto para ningún efecto).

En general, los árboles deben cumplir los siguientes requisitos

- 1.- Encontrarse en rodales coetáneos de densidad uniforme.
- 2.- Ser dominante (excepcionalmente codominantes).
- 3.- Diámetro superior al promedio del rodal.
- 4.- Fuste recto, cilíndrico y sin crecimiento en espiral.
- 5.- Copa de diámetro pequeño y balanceada.
- 6.- Poseer ramas cortas, de poco diámetro y de ángulo de inserción en el fuste lo más cercano a 90°.
- 7.- El árbol no debe estar inclinado.
- 8.- Presentar una buena tolerancia a enfermedades, deficiencias y plagas.
- 9.- No debe ser un árbol borde.

Una vez localizado un árbol que reúna estos requisitos, debe ser comparado con los 5 mejores árboles que se encuentren dentro de un radio aproximado de 20 m. Dependiendo de las condiciones del área dicho radio podría aumentarse hasta 30m.

Los árboles de comparación deben ser elegidos considerando fundamentalmente su volumen, razón por la cual se les medirá solamente diámetro y altura, pero sin descuidar las demás características de calidad. Es decir, árboles de alto volumen pero de mala calidad no serán considerados para comparación.

El árbol candidato debe cumplir con las siguientes características mínimas:

- Volumen: mínimo 20% superior respecto al promedio de los 5 árboles de comparación.
- Rectitud: mínimo rectitud 2 cercana más hacia 3 que hacia 1.
- No presentar bifurcación fustal.
- Sin daños en el fuste.
- Calidad de ramas: mínimo calidad 2 cercana más hacia 3 que hacia 1.

Estos árboles son seleccionados en plantaciones de buena calidad, homogéneas, coetáneas, de mínimo 5 años de edad. Se estima seleccionar 1 árbol cada 5 hectáreas.

Una vez que un árbol candidato ha sido definitivamente seleccionado, se le asignará un número el que se deberá marcar con pintura en dos caras opuestas del tronco a una altura visible. Del mismo modo, se deberán marcar los árboles de comparación con números correlativos definitivos del 1 al 5 correspondientes a los anotados en el Formulario.

Cada árbol aprobado recibirá un código compuesto por tres letras, las primeras dos identifican a la empresa que realizó la gestión de selección, seguido de la letra F (programa tolerancia al frío) más un número correlativo. Este código identificará permanentemente al material que de cada árbol se ha extraído (púas, estacas, semillas), siguiéndolo en todas las etapas del proceso.

Referente al uso del formulario adjunto, es conveniente anotar toda la información que en él se detalla -incluido el croquis de ubicación del candidato y árboles de comparación-, para más tarde poder elaborar los datos de cada árbol y encontrarlo nuevamente en el terreno con facilidad y rapidez.

GUIA DE PUNTAJE

1. Fundamentos y Supuestos:

La puntuación del candidato para todas y cada una de las características debe ser calculada en términos relativos a los árboles de comparación con el objetivo de cuantificar la plusvalía del candidato.

- Los efectos ambientales deben ser corregidos al máximo, para ello es adecuado definir que el área de acción sea homogénea, antes de decidir el radio de acción a utilizar.
- La certeza de la selección aumenta con la edad del bosque, de ahí que se sugiera buscar rodales próximos a la edad de rotación.
- Si el árbol candidato es de muy buena calidad, equivalente a un árbol plus de primera generación de alta intensidad, podría también ser propagado generativamente. En este caso los costos que ello signifique no serán cargados al proyecto, debiendo ser financiado por la empresa interesada.
- Cuidar que el candidato o los árboles de comparación no se encuentren en una situación de privilegio, como por ejemplo mayor espaciamiento, cercano a una fuente de agua o en la parte baja de una ladera.

2. Variables cuantitativas.

Estas características son las que muestran la superioridad del crecimiento del individuo, que a través de la altura y el diámetro reflejan exactamente el potencial volumétrico del candidato. Estas deben ser medidas, tanto en el árbol candidato como en los de comparación.

2.1 Altura

Determinar la razón de altura mediante la siguiente fórmula:

$$A = (H_s / H_c) * 100 - 100$$

donde: **Hs:** Altura candidato.
Hc: Altura media 5 árboles de comparación.

La razón de las alturas es luego convertida a puntaje mediante la siguiente escala:

SUPERIORIDAD EN ALTURA	EDAD (*) HASTA 20 AÑOS
Menos de 10%	0
10 % - 11%	1
12 % - 13%	2
14 % - 15%	3
16 % - 17%	4
18% - 19%	5
20 %	6
Mayor a 20%	7

INFERIORIDAD: Si el árbol candidato es peor que el promedio de los árboles de comparación, se deducirán puntos con la misma escala como ellos son designados cuando el candidato es superior.

2.2 Volumen

Determinar el radio de volúmenes por las fórmulas:

$$V = (V_s / V_c) * 100 - 100$$

donde: **Vs:** Volumen candidato (según función o D^2H).
Vc: Volumen medio 5 árboles de comparación.

SUPERIORIDAD: Por cada 10% de exceso de volumen del candidato sobre los 5 árboles de comparación se asigna 1 punto extra.

2.3 Peso específico.

Con la finalidad de tener un dato inicial referencial y correlacionarlo con las determinaciones que posteriormente se realizarán en los ensayos clonales, se determinará el peso específico en una rodela de 4 - 5 cm de espesor. Esta se extraerá al término del primer quinto y comienzo del segundo quinto de la altura del árbol. Se entiende que el primer quinto es el basal.

Evitar que la rodela se extraiga en un punto con ramas.

Numerar la rodela con el código del árbol. La Cooperativa se encargará de recoger en cada empresa las rodelas para su posterior análisis.

3. Variables cualitativas

3.1 Copa

Para ser juzgada subjetivamente desde el punto de vista del candidato respecto a los demás árboles, considerando radio de la copa, tamaño del tronco, competencia bajo la cual ha crecido el árbol, conformación de la copa y dominancia balanceada.

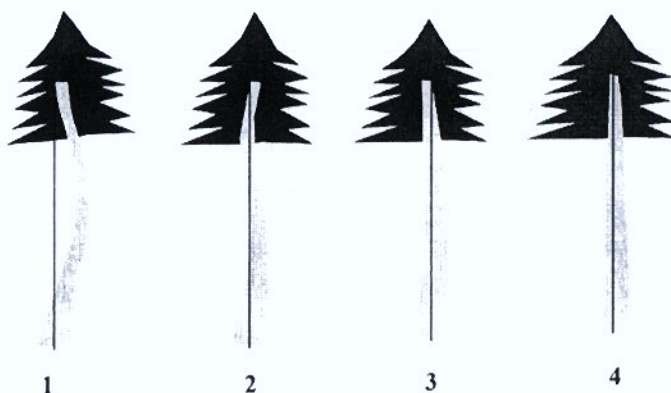
Rango de calificación: 0 a 2 puntos

3.2 Rectitud

Para determinar rectitud se debe proyectar una línea imaginaria entre el fuste, al centro de la copa, y el centro del fuste en la base del árbol. Si esta línea pasa aproximadamente por el centro del fuste, el valor de rectitud es 4; si la línea se sale claramente del fuste, el valor es 1; calificaciones intermedias se clasifican como 2 y 3 donde 2 representa una posición intermedia cercana a 1 (mala rectitud) y 3 es una rectitud intermedia cercana a 4 (buena rectitud).

1. Arbol fuertemente curvado o con curvaturas múltiples
2. Arbol con problemas de rectitud, cercano a 1
3. Arbol con curvaturas menores, cercano a 4
4. Arbol recto

C A T E G O R I A S D E R E C T I T U D



Esta es una de las variables cualitativas de mayor importancia en la toma de decisión, se debe tener claridad en definir si un árbol es o no es recto y verificar que esto no haya sido alterado por efectos externos como daños durante el control de malezas, daño mecánico

producto de viento en etapas juveniles, etc. Cualquiera sea el caso, bajo estas circunstancias se aceptará una torcedura basal hasta 1.0 metro desde el suelo.

3.3 Calidad de ramas

Se juzga en forma subjetiva globalizando el diámetro y ángulo de ramas como un solo concepto. Es evaluado de 1 a 4, donde:

1. Ramas marcadamente más gruesas y/o ángulos más agudos que el promedio del rodal.
2. Calidad intermedia cercanas al valor 1
3. Calidad intermedia cercanas al valor 4
4. Ramas de diámetro pequeño y ángulo cercano a los 90°.



FORMULARIO ÁRBOLES PLUS PROYECTO CLONACION FRIO DE *Eucalyptus globulus*

ANTECEDENTES GENERALES

CÓDIGO	
--------	--

EMPRESA	
SELECCIONADOR	
FECHA	
PROVINCIA	
COMUNA	
LOCALIDAD	
PREDIO	
RODAL	
EDAD	

DESTINO	
☐	PROYECTO FRIO
☐	HUERTO SEMILLERO CLONAL
APROBADO POR	
FECHA	

PARÁMETROS DASOMETRICOS

ÁRBOL	ALTURA (m)	DAP (cm)	VOL (m ³ ssc)
1			
2			
3			
4			
5			
MEDIA			
CANDIDATO			

(Fórmula tipo para cálculo de volumen $V=0,0085 + 0,000033D^2H$)

CROQUIS UBICACIÓN ÁRBOL PLUS Y ARBOLES DE COMPARACIÓN

ASIGNACIÓN DE PUNTAJE

VARIABLES	CANDIDATO
ALTURA	
VOLUMEN	
RECTITUD	
COPA	
CAL. RAMA	
TOTAL	

OBSERVACIONES:

OBJETIVO DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO

?Qué mejorar?, ?Qué le interesa a la industria?

1. Original objective- -60 years ago
 - a. Native species - Nordic countries, US, Canada, Europe
 - i. Provenance tests – local source nearly always best
 - ii. In the US South each cooperator had a defined geographic area from which tree selections, by species, were obtained
 1. Conservative approach for breeding zones (local provenance is best until proven otherwise); later broadened to create large breeding zones
 2. Gave each cooperator pride in having their own seed orchard
 - iii. In US Pacific Northwest (Douglas-fir) had community seed orchards
 - iv. Tree selection for improved growth, form, freedom from insects and diseases, wood properties
 - v. In US South, considerable emphasis placed on wood properties until results from seed orchards and progeny tests obtained
 1. Wood density
 2. Fiber dimensions
 3. Cellulose content
 - vi. In US South, promise was that a 5% gain would be obtained in wood volume per unit area per unit time, compared to the control
 - vii. Used a 4-tester breeding system (for each orchard) that allowed evaluation for good general combining ability, but was fatal for long-term breeding
 - viii. Established progeny tests under conditions that were common to the site preparation conditions of that time
 - b. Exotic species – South America, Pacific Rim, Asia, Africa
 - i. Species and provenance trials
 - ii. Land races of 'adapted' exotic species were often best, but with major exceptions
 - iii. Tree selection, orchard establishment and progeny testing similar to that used for native stands

early years of 2000, but this time it was the dominant players in the industry that were swallowing their smaller counterparts. Among the fallen were Blandon, Union Camp, Consolidated, Champion, Federal Paper Board, Union Camp, and Willamette.

What does all this amalgamation have to do with tree improvement? In short, it has to do with the land base. Starting in the 1930s, when the pulp and paper industry learned that competitive pulp, paper and paperboard could be made from the high-resin southern pines, thanks to Herty Laboratory, Savannah, GA, there was a rush to build new pulp mills. During 1937-38, 18 new pulp mills came on stream. Those mills stretched along the coast from Eastern Virginia into the pine belt of Texas. Almost without exception, those 18 mills and others began compiling a forest land base for timber support. Only a maverick here and there chose to build a mill without the back-up wood resource. Interestingly, those mavericks survived, largely because of landowner assistance programs and because of the camaraderie among wood procurement managers; the wood-poor mills survived because of the wood-rich ones.

The pulp and paper industry went on a binge in the 1960s by diversifying into businesses that were foreign to their core assets, such as rug, furniture, insurance, farming and home construction. With the minor exception of home construction, those investments failed, largely because the buying companies were operating businesses outside of their areas of expertise. Abutting that costly experience was the advent of the chip-'n-saw mills. Nearly every company with significant land holdings invested in that business for the dual purpose of leveraging their timber resource for lumber manufacture as well as a ready supply of chips for the pulp mills. Even though grade-pine sawmills were the core of the land base of some pulp and paper companies, others expanded their operations from the chip-'n-saw operations into high-speed sawmills with production capacities of 80 to 100 million board feet per year, or more. The evolving utilization standards had a significant impact on tree improvement programs because the emphasis shifted to open-pollinated family-block plantings where some families with good growth and tree form were managed for sawtimber rotations, whereas others with fast growth but marginal form were destined for the pulp mill and, later as we shall see, to engineered wood products (EWPs). The open-pollinated family-block plantings have evolved today to control mass pollination (CMP) where the parents are chosen for the attributes specific to the desired end product. The CMPs of today are being eclipsed by clonal forests of tomorrow.

Following the advent of the chip-'n-saw mills by a decade or so were EWPs, chief among which are oriented strand board (OSB) and laminated veneer lumber (LVL). Those allied industries, together with continuous digestors that allowed sawdust to be manufactured into pulp, and power generating plants that used residual bark and refuse wood for fuel allowed the forest industry to liken themselves to the hog industry where everything from the forest was utilized except the squeal.

The forest land base was considered an asset to the financial well being of a company in the early years. It served as collateral for construction of new pulp mills and other assets. During the high-inflation years of the late 1970s and early 1980s, the land base suddenly

became a liability in the eyes of the stock analysts. That is one reason why the arbitragers were so successful in buying the whole for less than the parts. Even companies that survived the onslaught began separating their forest lands into wholly owned subsidiaries. Other forest products companies began selling (and continue to sell) their timberlands to new types of forest-land holding companies such as Timber Management Investment Organizations (TIMOs) and Real Estate Investment Trusts (REITs). The TIMOs are primarily invested in the U.S., but have holdings in New Zealand, Australia, Canada and Brazil. Among the 25 or so organizations that fall into this category, Hancock Timber Resources Group is the standard bearer with about three million acres of timberland. Plum Creek Timber Company is the king among the REIT group, with upwards of eight million acres of timberland. Only a select group of companies continue to hold timberland for wood-resource security. Among those few are International Paper., Weyerhaeuser, MeadWestvaco and Temple-Inland. Even among those giants, non-strategic timberlands are commonly sold to the TIMOs, REITs and others.

FORMATION OF TREE IMPROVEMENT PROGRAMS

During and following the years of World War II, the newly coined pulp mills in the South operated on the second-growth forests of colonized agricultural fields that had once supported extensive stands of longleaf pine (Early 2004). Following the demise of the pioneer forest to naval stores and lumbering (Outland 2004) the land was cleared for agriculture. By 1920s much of the land that was abandoned because of poor agronomic soil husbandry and the pervasiveness of the boll weevil had succeeded to native-seeded forests. Even then data compiled by the USDA Forest Service (Alig 1985) and others showed the timber supply to be unsustainable at current usage. In unison, the industry set about to manage their timberlands. The first effort was to plant open lands and, secondly, to site prepare and plant lands from which the timber crop had been harvested. The open-land initiative culminated with the Soil Bank plantings of the late 1950s in which about three million acres of plantations were established with southern pines.

Site preparation of cut-over woodlands varied in quality during the early years. No one knew the quality of site preparation needed and the heavy equipment and other resources were lacking. Heavy equipment that was designed for earth moving was tried with varying results, and herbicides with and without fire received wide-spread attention. With necessity being the mother of invention, the KG-blade, V-blade and root rake came into being. The site preparation equipment also included the rolling drum chopper that was fashioned from a paper-machine drum onto which were welded cutting blades. That vision originated with Wes Sentell, a forester from Arkansas who culminated his career as Woodlands Manager for Tennessee River Pulp and Paper Company, Counce, TN.

It was during this time, also, that forest tree nurseries were established with abandon. Every state forestry service built one or more of the seedling producing factories, and they were aided by nurseries of USDA Forest Service and forest industry. Even though the optimum seedling grade of the southern pines had been quantified by Dr. Phil Wakeley (USDA Forest Service) in the early 1950s the quality of the seedlings produced in the myriad nurseries was highly variable. Thus, the combination of marginal site

preparation, poor quality seedlings, and lack of tipmoth control added to the notion that loblolly pine required about four years to become sufficiently established to start meaningful height and diameter growth. It was that notion in addition to the general absence of tipmoth damage to slash pine that caused foresters throughout the loblolly pine region to favor slash pine. Decades passed before the old-line foresters acknowledged that plantation-grown loblolly pine was the superior species in volume production on most soils outside of the deep South.

It was no accident that plantation forestry of the southern pines developed in parallel with tree improvement programs. In fact, Dr. Bruce Zobel was hired as a silviculturist by Texas Forest Service, not as a tree breeder. His foray into forest genetics resulted from a public lecture in Houston, Texas by Dr. Åke Guftasson, a plant breeder from Sweden. The result was the first tree improvement cooperative, with equal participation between public and private agencies. That program, organized in 1951, continues to exist as the Western Gulf Tree Improvement Cooperative. It was joined, in succession, by the University of Florida Cooperative Forest Genetics Research Program and the North Carolina State University-Industry Cooperative Tree Improvement Program. Other tree improvement initiatives were organized by public agencies, viz., USDA Forest Service, Tennessee Valley Authority, and various state forestry services. Many of these programs have waned and others, especially those housed within state forest services, have united with the cooperative programs at Texas A&M, Florida and NC State. The occasional industrial tree improvement program that was not originally aligned with one of the cooperatives has come into the fold, largely because of the wide genetic base maintained by the cooperatives.

LAND MANAGEMENT

To sell the tree improvement concept to cooperative members, Bruce Zobel promised a gain in volume production of five percent at the end of a rotation relative to a plantation with unimproved genetic material. Realizing that it would be 10 to 15 years before his promise could be verified and realizing that members of the cooperative would become apprehensive while awaiting the results, the entrepreneurial scientist began studies of wood properties of the southern pines and, to a limited extent, of southern hardwoods. The initial studies showed variability among and within species, and within trees from pith to bark and base to top of crown. Subsequent data eventually showed some of the wood properties, such as specific gravity, to be highly heritable. Thus, the original stop-gap initiative became an integral part of the weighted index for genetic improvement of the southern pines.

As the tree improvement programs progressed, the cooperators learned that the effort included more than just the selection of superior trees and establishment of seed orchards. The next step was progeny testing. The original idea was to evaluate the genetic worth of the selected trees by open-pollinated progeny tests, but flowering in seed orchards at an earlier age than expected, four to six years from establishment, resulted in the decision to forego open-pollination testing in lieu of controlled crossing. A dictum handed down by Dr. Zobel was that the progeny tests were to be established on land that had been site

prepared following harvest of the parent stand. In short, tests were not to be established on old fields¹.

With the rather crude methods of site preparation that were common to the time, performance of the progeny was highly variable. The dictum was then communicated that best performance of genetically improved plant material had to be in concert with the best silvicultural practice, inclusive of site preparation, and that the tests were to be on 'average' sites, avoiding the most fertile and least fertile soils. With development of the progeny, comparisons were made with the performance of the genetic material against the trees in commercial plantations. The relatively better performance of the trees in the genetic tests, inclusive of the common check, caused the cooperating members to improve their site preparation methods accordingly. Even though there are many components to site preparation, and no system is optimum for every situation, today's example might include shearing, piling, disking and planting.

In conjunction with the establishment of first-generation seed orchards, it became obvious that plantations established on old fields were superior in tree growth and volume than comparable stands established on cut-over lands. A large part of that difference was attributed to the lack of woody competition, and to residual nutrients from agronomic cropping. Herbicides specific to forestry were developed that were effective in controlling all competing vegetation, and others were specific to the control of competing woody vegetation. Continued evaluation has allowed the herbicides to be prescribed for today's use by type, amount and timing.

In concert with the control of competing vegetation, plant nutrition was found to be limiting tree growth on most sites. The most notable example was the sites in the Coastal Plain that were phosphorus deficient. Treatment of those sites with phosphate at time of planting was found to be essential for acceptable tree growth. Additional studies across the range of sites common to loblolly pine plantations showed that an application of nitrogen in combination with lesser amounts of phosphorus gave economically attractive returns when applied at time of crown closure (7 to 10 years from planting), and at about 10-year intervals, in combination with thinning, until rotation age is reached (Allen *et al.* 2005). Some soils have been found to be deficient in potassium, and others in boron and copper. Prescriptions fertilizer applications are now the rule with loblolly pine plantations. More than 150,000 acres receive treatment annually, and more than two million acres of forest plantations, inclusive of repeat treatments, have been treated since the practice was initiated in the 1980s (Allen *et al.* 2005).

This combination of factors: genetically improved planting stock, optimum site preparation, use of quality seedlings, competition control, optimum plant nutrition and stocking control has increased productivity of loblolly pine plantations from about 3 tons/acre/year in natural stands and 5 tons/acre/year in the original plantations, to as much as 15 tons/acre/year in the most recently established plantations. Tree

¹ Because of the high genetic correlation between trees grown in intensively managed research plots relative to those grown in commercial plantations the strategy today is to test the genetic material on the best sites regardless of previous land use.

improvement programs of the southern pines that have progressed through the third generation of breeding, are showing 30 to 40 % volume improvement over the common check. The added productivity is being realized from the best genetic stock benefiting from optimum silvicultural practices.

SUMMARY and CONCLUSION

The next step in the improvement of forest trees, in conjunction with continued tree breeding, will involve molecular genetics. Molecular genetics is an extension of tree improvement; the difference is that attention is given to the gene rather than to the genotype. Even then, molecular genetics has multiple uses rather than just genetic engineering. The three components are: (1) vegetative propagation of undifferentiated cells (embryogenesis), (2) gene mapping for marker-aided selection and breeding, and (3) genetic engineering (Yanchuk, 2001).

A segment of forest industry has supported university initiatives in biotechnology research since about 1980, even to the point that some initiated in-house projects. More recently, those separate in-house programs have formed alliances with their competitors, largely because of the cost of the separate programs and the competition encountered in developing intellectual property. The best example of the collaboration among competing companies is ArborGen. That stand-alone company consists of the biotechnology resources of International Paper and MeadWestvaco of the U.S. and Rubicon and Genesis Research of New Zealand. The plant material emanating from ArborGen will accrue first to the sponsoring companies, and subsequently to buyers of the plant material.

Considerable controversy is associated with the release of genetically modified trees, even though some years will elapse before commercial plantations of forest trees are established. To provide a platform for open communication around the benefits and risks of forest biotechnology, a new organization was formed, the Institute of Forest Biotechnology (IFB). IFB is an independent organization that has the objective of working for societal, ecological and economic benefits from appropriate uses of forest biotechnology on a worldwide basis. A major cornerstone of IFB is Heritage Trees®. Heritage trees are defined as those that are threatened, endangered or have intrinsic historic or economic value. American chestnut is the poster child of that initiative. Working with The American Chestnut Foundation (TACF), IFB has convened a group of scientists from Syracuse (ESF), Penn State, NC State, Clemson, Georgia, and USFS Forest Service, to identify the genes in Chinese chestnut that connote resistance to chestnut blight. The results of that research will be used for directing breeding programs (marker-aided selection) and for insertion of the identified genes into American chestnut to give the desired fungal resistance. Programs such as Heritage Trees® are important in that they provide a mechanism for direct social benefit from a new technology. In this vein, regulatory agencies are immune to placing value on a product, whereas society demands a favorable risk/benefit ratio such as provided by the Institute of Forest Biotechnology.

2. Today's objective

- a. Still want greater volume production, improved form, insect and disease resistance and improved wood properties
- b. But there are differences, mostly brought on by being able to work at the gene (allele) level instead of the tree level:
 - i. Want genotypes that are genetically modified for disease and insect resistance, tolerance to selected herbicides, nutrient efficient, tolerance to environmental extremes, and improved wood properties
 - 1. Wood properties of greatest importance today are:
 - a. Fibral angle – angle parallel to tree bole- - for lumber strength
 - b. Lignin modification for reduced use of caustic chemicals in pulping and bleaching, and in reduced caustic chemicals in effluent stream
 - ii. Clonal forestry is commonplace in most exotic environments where intensive forestry is practiced, and work is progressing to obtain a similar result with native species
 - iii. Progeny testing is done to get the best measure of genotype, sometimes in greenhouses and often in combination with intensive silvicultural practices
 - iv. Breeding systems are devised to maintain a broad genetic base
 - v. Genetic evaluations are done for specific outcomes: sawtimber vs. pulpwood, for example

IMPACTS OF TREE IMPROVEMENT ON THE FOREST PRODUCTS INDUSTRY

R. C. Kellison

President, Institute of Forest Biotechnology, 920 Main Campus Drive, Suite 101, Raleigh, NC 27606.
Contact: bob_kellison@forestbiotech.org

INTRODUCTION

My objective is to discuss the impacts that tree improvement programs have had on the forest products industry in the U.S. South. The period covered is roughly from 1950 to the present, with an occasional reference to the early parts of the 1900s. To assess the impacts, it will be necessary to give a thumb-nail sketch of the changes in the forest industry during that time.

Until about 20 years ago the forest products industry operated without significant competition from abroad. With the exception of Canada, we largely grew our wood and manufactured it into the products that were in demand by society. When the internal economy waned and capacity was high, the excess was exported, but when the reverse occurred we ignored the export market while benefiting from internal consumption. That mode of operation caused foreign buyers to identify us as unreliable suppliers. Those buyers established a lasting relationship with partners on whom they could rely during good times and bad. The relationship of the Nordic countries to Western Europe is the epitome of trust between supplier and buyer (Siry, *et al.* 2005).

In the early 1980s, the U.S. economy deteriorated badly. Nominal interest rates rose to about 20 percent. That phenomenon, in combination with a high monetary exchange rate, sparked a revolution in the forest products industry. Imports from every corner of the globe came trickling into the U.S., and then they became a flood. Conversely, exports of domestic wood products waned to a slow death.

The ailing forest products industry spawned the interest of arbitragers who visualized a financial gain by buying companies at reduced prices and selling the parts for a sum greater than the whole. In some situations, only a modest amount of cash was offered with the remainder being secured from lending institutions that used the land base and the manufacturing plants as collateral. During this time, many of the forest products companies that were household names ceased to exist. Among those names are American Can, Continental Can, Crown Zellerbach, Owens-Illinois and Scott Paper. Others such as St. Regis and Hammermill escaped the arbitragers only by 'white knight' Champion and International Paper coming to the rescue.

In the early 1990s, the economy had righted itself so that the remaining forest products companies prospered to economic highs not seen in the previous 40 years. Northern bleached softwood kraft (NBSK) pulp exceeded \$900 per ton, with southern bleached softwood kraft (SBSK) being not far behind. In unison, hardwood bleached kraft pulp, both northern and southern, reached record highs. These good economic times caused a further consolidation within the wood products industry during the late 1990s and the



FORMULARIO ÁRBOLES PLUS DE *Nothofagus alpina*

ANTECEDENTES GENERALES

CÓDIGO	
--------	--

EMPRESA	
SELECCIONADOR	
FECHA	
PROVINCIA	
COMUNA	
LOCALIDAD	
PREDIO	
RODAL	
EDAD	

DESTINO	
☐	HUERTO SEMILLERO CLONAL
☐	BANCO CLONAL
☐	EPPA
APROBADO POR	
FECHA	

PARÁMETROS DASOMETRICOS

ÁRBOL	ALTURA (m)	Alt.fustal (m)	DAP (cm)	VOL (m3ssc)
1				
2				
3				
4				
5				
MEDIA				
CANDIDATO				

(Fórmula tipo para cálculo de volumen $V=0,0086 + 0,000033D^2H$)

CROQUIS UBICACIÓN ÁRBOL PLUS Y ARBOLES DE COMPARACIÓN

ASIGNACIÓN DE PUNTAJE: ÁRBOL CANDIDATO Y DE COMPARACIÓN

VARIABLES	CANDIDATO	COMP. 1	COMP. 2	COMP. 3	COMP. 4	COMP. 5
ALTURA		///	///	///	///	///
ALT.FUSTAL		///	///	///	///	///
VOLUMEN		///	///	///	///	///
RECTITUD						
COPA						
DIAM.RAMA						
ANG.RAMA						
TOTAL						

OBSERVACIONES:

The model envisioned by Bruce Zobel over 50 years ago, for public and private agencies to work together, still lives on. The difference today is that we are equally concerned about a protein produced from a DNA contig as were the silviculturists (geneticists) of yesteryear being concerned about the proper source of seed for plantation establishment. We've come a long way, baby!

LITERATURE CITED

Alig, Ralph J. 1985. Modeling acreage changes in forest ownerships and cover types in the Southeast. Res. Pap. RM-260. USDA For. Serv., Fort Collins, CO. 14 pp.

Allen, H. Lee, Thomas R. Fox and Robert G. Campbell. 2005. What is ahead for intensive pine plantation silviculture in the South? *SJAF* 29(2):62-69.

Early, Lawrence S. 2004. Looking for Longleaf: The Rise and Fall of an American Forest. Univ. of North Carolina Press, Chapel Hill. 322 pp.

Outland, Robert B. III. 2004. Tapping the Pines: The Naval Stores Industry in the American South. Louisiana State Univer. Press, Baton Rouge. 353 pp.

Siry, Jacek P., Thomas G. Harris Jr., Sara Baldwin, David Null, and Jose Gonzalez. 2005. Southern U.S. forest products: How competitive? *Solutions!* 88(5):34-39.

Yanchuk, A. D. 2001. The role and implication of biotechnological tools in forestry. *Unasylva* 204(52):53-61.

Glosario Genética

C. Balocchi

ADN (DNA)	Acido desoxirribonucleico: Biomolécula que contiene y transmite la información genética de los organismos vivos
Alelo	Cada una de las variantes que puede tener un gen. En un organismo diploide existen dos alelos para cada gen (uno de cada padre) y ocupan la misma posición relativa (locus) en los cromosomas homólogos
ARN (RNA)	Acido ribonucleico: Molécula formada por una cadena de nucleótidos que tiene un importante papel como intermediario en la síntesis de proteínas y otras actividades químicas de la célula
Base Nitrogenada	Componente básico que contiene nitrógeno. Se usa especialmente para referirse a anillos orgánicos como la Adenina, Guanina, Citosina y Timina que son los componentes de los ácidos nucleicos
Bioinformática	Uso de la computación para el estudio de la biología
Biomolécula	Compuesto orgánico presente normalmente como componente esencial de los organismos vivos
Biotecnología	Toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos, o sus derivados, para la creación o modificación de productos o procesos para utilizarlo con un propósito específico
cDNA	Complementary DNA: ADN sintetizado a partir de ARN
Clon	Grupo de organismos vivos genéticamente idénticos
Cromosoma	Filamento condensado de ADN , cuyo número es contante para cada especie animal o vegetal N° Cromosomas Humanos $2n = 46$ Pinos $2n = 24$ Oregón $2n = 26$ Eucaliptos $2n = 22$ Sequoia $6n = 66$
Diploide	$2n$: Que posee dos pares de cromosomas (uno del padre y uno de la madre)
Electroforesis	Método empleado para separar una mezcla de moléculas grandes, tales como fragmentos de ADN o proteínas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través de un gel que contiene las muestras que se desea separar. Las muestras se separan de acuerdo a su peso molecular
Fenotipo	Rasgos o características visibles de un organismo, por ejemplo color, tamaño, etc.
Gel	Matriz compuesta por agar altamente purificado que se usa para separar moléculas grandes, como el ADN y ARN, en la electroforesis

Gen	Secuencia de nucleótidos (bases nitrogenadas) que se encuentra en un lugar determinado de un cromosoma, que lleva la información para fabricar un producto funcional específico, como una proteína o una molécula de ARN. Se considera la unidad básica de la herencia Nº Genes (aprox.) <table> <tr> <td>Humanos</td> <td>35.000</td> </tr> <tr> <td>Arabidopsis</td> <td>25.000</td> </tr> <tr> <td>Pinos</td> <td>??</td> </tr> <tr> <td>Eucaliptos</td> <td>??</td> </tr> </table>	Humanos	35.000	Arabidopsis	25.000	Pinos	??	Eucaliptos	??
Humanos	35.000								
Arabidopsis	25.000								
Pinos	??								
Eucaliptos	??								
Genoma	Todo el material genético contenido en los cromosomas de un organismo particular Tamaño Genoma (Megabasepairs - Mbp). Aprox. <table> <tr> <td>Humanos</td> <td>3.000 Mbp</td> </tr> <tr> <td>Arabidopsis</td> <td>100 Mbp</td> </tr> <tr> <td>Eucaliptos</td> <td>600 Mbp</td> </tr> <tr> <td>Pinos</td> <td>30.000 Mbp</td> </tr> </table>	Humanos	3.000 Mbp	Arabidopsis	100 Mbp	Eucaliptos	600 Mbp	Pinos	30.000 Mbp
Humanos	3.000 Mbp								
Arabidopsis	100 Mbp								
Eucaliptos	600 Mbp								
Pinos	30.000 Mbp								
Genómica	Ciencia que estudia el genoma de un organismo y el papel que juegan en el los genes que lo componen, desde el punto de vista estructural y funcional								
Genotipo	Constitución genética de un individuo								
Germoplasma	todo tejido vegetal vivo a partir del cual se puede obtener una nueva planta. También se aplica a la variabilidad genética total disponibles en una población particular de organismos vegetales								
Haploide	Que posee un único juego de cromosomas								
Híbrido	Planta resultante del cruzamiento entre dos especies o entidades genéticas diferentes								
Ingeniería Genética	Conjunto de técnicas de biología molecular que permiten aislar, manejar y transferir los genes de un organismo a otro								
Isoenzimas	Una de dos o más formas de una enzima								
Locus	Posición que ocupa un gen en el cromosoma o genoma								
Meristema	Tejido vegetal formado								
Mutación	Cambio en la estructura del ADN o en el número de genes o cromosomas de una célula. Las mutaciones pueden ocurrir espontáneamente o ser inducidas por agentes químicos o radiación								
OGM	Organismo Genéticamente Modificado: Organismo en que se ha manipulado el material genético de una manera que no se produce en forma natural para permitir la expresión de determinadas características deseables								
Partidor (Primer)	Pequeña cadena de ADN o ARN a partir de la cual la ADN Polimerasa inicia la síntesis de una molécula nueva de ADN								

PCR	Polymerase Chain Reaction: Técnica usada para replicar fragmentos de ADN y producir muchas copias de una secuencia particular de ADN
Proteómica	Disciplina que estudia la estructura, función, localización e interacción entre las proteínas, dentro y fuera de la célula
Protoplasto	Célula vegetal sin su pared celular
QTL	Quantitative Trait Loci: Región particular del genoma que contiene un gen o genes asociados con la característica de interés evaluada
Secuenciación (de ADN)	Determinación del orden en que se disponen las bases nitrogenadas que forman una molécula de ADN
Taq polimerasa	ADN polimerasa estable a la temperatura, aislada de la bacteria <i>Thermus aquaticus</i> y que es usada en PCR
Totipotencial	Capacidad que tienen naturalmente las células vegetales de regenerar una planta completa si son cultivadas en el medio apropiado
Transcriptoma	Sección del genoma que transcribe información Representa aproximadamente entre un 5 y 20% del genoma
Transcriptómica	El estudio de la transcripción de la información genética (ARN) y como los patrones de expresión genética cambian con el tipo de tejido, estado de desarrollo, ambiente, etc.
Transgen	Gen proveniente de un organismo y que es transferido a otro organismo de una especie diferente
Transgenia	Técnica que consiste en transferir uno o más genes de interés entre organismos de diferentes especies
Transgénico	Organismo a cual se le ha incorporado material genético de otra especie

Forestal en el Mundo Demanda y Oferta

- I. **World consumption of wood**
 - a. 1.3 bcm collected for processing; an equal amount collected for cooking and heating
 - b. 140 million hectares of plantations; 3.8% of total forest cover
 - c. Plantations produce 20% of wood harvested for processing; 50% by 2025
 - d. New plantations on a commercial scale are largely restricted to southern South America (Argentina, Brazil, Uruguay) and to southeast Asia, especially China
- II. **United States is major manufactured wood consumer in world**
 - a. **Lumber**
 - i. Consumes about 146 million cubic meters per annum
 1. One third from each of three regions
 - a. US South
 - b. Pacific Northwest
 - c. Imports
 - i. Canada-95%
 - ii. Other imports-5%
 - b. Europe consumes 30% of US total; 80% of which is softwoods
 - c. Japan consumes 12% of US total; 90% of which is softwoods
 - d. Rest of world consumes 18% of US total, mostly of softwoods
 - e. **Panels**
 - i. OSB production, 2005, 747 million cubic meters
 1. Imports: 21 mcm
 2. Germany with 30%; Brazil and France 2nd and 3rd
 - ii. Plywood production, 2005, 513 million cubic meters
 1. Imports: 51 mcm with Brazil accounting for 80% of that
- II. **Wood pulp**
 - a. World pulp production 60 million tonnes
 - b. New capacity in 2006E is 5 million tonnes
 - i. 60% in China
 - ii. 20% in Europe
 - iii. 20% rest of world, with 1.8 million tonnes in Argentina, Brazil, Chile
 - c. Closures in North America in 2005 were 5 million tonnes; following closure of 2 million tonnes in 2004
 - i. Pulp production in US in 2002, 2003 and 2004 was less each year than the year before
 1. First time in history

2. 2005 production marginally above that of 2004
- ii. Capitalization in North American (US and Canada) pulp and paper industry about half that of depreciation and amortization since 1996

d. Per capita consumption in developed economies flat or declining

III. Paper and Paperboard Consumption

Countries with highest paper and paperboard consumption in world

Country	Population (million)	Per capita consumption for past 20 years (kg)			
		2004	1999	1994	1989
Finland	5	334	396	318	300
United States	298	312	340	322	302
Belgium	10	264	265	-- --	-- --
Denmark	5	257	250	229	245
Japan	127	250	240	225	224

Paper and paperboard consumption of selected Latin American countries

Country	Population (million)	Per capita consumption for past 20 years (kg)			
		2004	1999	1994	1989
Chile	16	64	53	41	28
Mexico	107	53	53	35	41
Brazil	188	45	38	30	29
Argentina	40	43	52	42	28
Venezuela	25	24	27	33	35

Paper and paperboard consumption of selected developing economies

Country	Population (million)	Per capita consumption for past 20 years (kg)			
		2004	1999	1994	1989
China	1.3 b.	34	33	24	16
India	1.1 b.	4	4	3	3
Russian Fed.	143	34	19	17	-- --

a. Pulp and paper company lands largely shifted to hands of two groups

- i. Timber Investment Management Organizations (TIMOs)
 1. Private funds from retirement plans and endowments
 2. About 4 million hectares in such ownership
 3. Led by Hancock Resource Management Group with 1.6 million hectares
 4. About 25 such funds are now operational
 5. Hold land and timber for 20 years and then refinance with new funds

6. Enjoys favorable tax credits as opposed to industrially owned land: 15% vs. 35% on gross proceeds of harvested timber
- ii. Real Estate Investment Trusts (REITs)
 1. Traded on stock exchange
 2. Differ from TIMOs in that the land and timber is owned by the REITs
 3. Have to disperse 95% of the income generated for operational expenses and to stock holders in any given year
 4. Four major REITs exist today
 - a. Plum Creek with 3.4 million hectares
 - b. Rayonier with 0.8 million hectares
 - c. Potlatch and Longview Fiber with 0.24 million hectares each
 5. Only three pulp and paper companies remain with forest land base greater than 400,000 hectares each
 - a. Weyerhaeuser with 2.25 million hectares
 - b. MeadWestvaco and Temple Inland with 0.8 million hectares each
 - c. International Paper has its 2.56 million land base for immediate sale, probably to one or more TIMOs
- b. Private forest lands offshore (Sweden, Finland, New Zealand, Australia) are also being divested, largely to TIMOs.
 - i. Reason: Forest lands not returning cost of capital
 - ii. Solution: Long-term wood supply agreement between the buyer and seller, with the seller continuing to operate wood processing plants (pulp mills, sawmills, and OSB and plywood plants)