

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE COSECHA PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA

USE OF HARVESTING RESIDUES FOR ENERGY PRODUCTION

Maestropaolo, J¹; Gielhard, O²; Bonkievich, S.³

¹Subgerente Producción Forestal, Alto Paraná S.A. Centro Forestal Predio Y Pora. Ruta Nacional 12 Km 1595, Misiones, Argentina. jmaestropaolo@altoparana.com

²Ingeniero Forestal. Jefe Abastecimiento Alto Paraná S.A. Centro Forestal Predio Y Pora. Ruta Nacional 12 Km 1595, Misiones, Argentina. ogielhard@altoparana.com

³Ingeniero Forestal. Jefe Unidad Abastecimiento y Ventas Alto Paraná S.A. Centro Forestal Predio Y Pora. Ruta Nacional 12 Km 1595, Misiones, Argentina. sbonkievich@altoparana.com

Resumen

El mundo está cambiando su política energética hacia el desarrollo de fuentes renovables. En el país y la región se fomentan acciones para el desarrollo de la bioenergía. Desde el Estado en mediano plazo se espera movilizar biomasa de origen forestal para hasta un 10% en el consumo total del país. La demanda está firme y se observa crecimiento, por lo que el aprovechamiento de la biomasa no solamente es una necesidad sino también una alternativa productiva. Equipos para el aprovechamiento de estos residuos son utilizados en todo el mundo, y es posible adaptarlos a condiciones locales.

Palabras clave: biomasa, forestal, triturador, producción, medioambiente, Argentina.

Summary

The world is changing its energy policy towards the development of renewable sources. In the country and the region are encouraged actions to develop bioenergy. In the medium term, the National Government is expecting to leverage from forest biomass up to 10% of the energy consumed in the country. Demand is firm and there is growth, so the use of biomass is not only a necessity but also a productive alternative. Equipment for this purposes are used throughout the world, and may be adapted to local conditions.

Key words: biomass, forestry, chipper, production, environment, Argentine.

Introducción

La combustión de biomasa constituyó tradicionalmente la fuente de energía más importante desde el descubrimiento del fuego hasta la revolución industrial.

En los últimos tiempos, este aprovechamiento ha vuelto a suscitar un gran interés, entre otras razones, ante la problemática del cambio climático global, cuyo origen parece vinculado al sistema energético actual. Esta circunstancia ha motivado que a los criterios tradicionales de gestión energética, basados en lograr mayor competitividad de costos y seguridad de suministro posibles, se hayan añadido otros tendientes a lograr una mayor protección del medio ambiente, a través de una política que incluye el desarrollo de energías de carácter renovable entre las que se encuentra la biomasa (Sanz Infante et al, 2003).

En Argentina en general y en la región en particular, existe una tendencia clara hacia el aumento del consumo de biomasa para la generación de energía. A la problemática ambiental, se suman además:

- Costo de la energía de origen convencional.
- Disponibilidad de la misma que asegure el abastecimiento de cualquier emprendimiento industrial.

Denominaremos *biomasa industrial primaria* (combustibles de madera indirectos) a los residuos de madera generados en un primer proceso dentro de la industria. Según un relevamiento contratado por Alto Paraná S.A. en 2009, la disponibilidad de biomasa de origen industrial en la región de Misiones y norte de Corrientes es de 820.890 ton/año. La distribución es la siguiente:

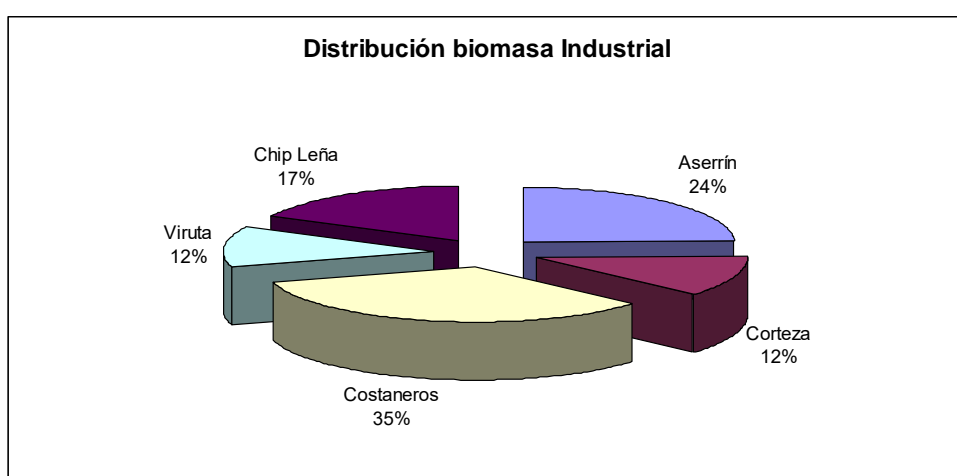


Figura I: Distribución biomasa de origen industrial.
Figure I: Biomass distribution originated in the industry.

Si bien el informe indica que para generación de energía se utilizaba en 2009 algo más del 25% de la biomasa industrial, es conveniente realizar algunas consideraciones.

En los últimos dos años se ha operado un aumento importante del consumo de biomasa de origen industrial, dado especialmente por:

- Reconversión de industrias que utilizaban madera nativa para el secado y demás procesos industriales, a la utilización de aserrín y corteza.
- Aumento de la capacidad de generación de energía de empresas instaladas en la zona.
- Legislación que favorece el uso de tecnologías para el aprovechamiento de biomasa.
- Alto costo de la energía disponible y problemas de disponibilidad (ya mencionado).
- Demanda de biomasa desde Brasil y Paraguay.

Si denominamos *biomasa forestal primaria* (combustibles de madera directos)¹ a aquella conformada por los residuos derivados de la cosecha, el mismo trabajo indica que se generan anualmente, a partir de la corta final de bosques implantados, unas 264.000 ton de biomasa, sin aprovechamiento industrial.

La biomasa que se genera en el bosque a partir de las cosechas forestales es la compuesta básicamente por tres elementos:

¹ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 2007

- Ramas.
- Copas.
- Secciones de fuste fuera de medida comercial

En cuanto a su capacidad como combustible, las propiedades de la biomasa industrial y forestal varían muy poco, incluso entre especies, debido a su composición.

Si bien el poder calorífico (es decir, la cantidad de calor que produce una unidad de biomasa cuando se provoca su combustión) en base seca no varía sustancialmente, un aspecto muy importante a tener en cuenta es el contenido de humedad.

Tabla I: Valores de poder calorífico (cal/g).

Table I: Calorific values (cal/g).

	CORTEZA	PIN CHIP	ASERRIN	CHIP LEÑA*	VIRUTA
Pcal en Base Seca	4.976	4.812	4.800	4.854	4.800
Pcal con Humedad Real	1.327	1.740	1.920	1.958	3.900

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos16/biomasa/biomasa2.shtml>, salvo

(*) determinado en Laboratorio Alto Paraná S.A.

Esto indica que, materiales como la corteza y el aserrín, acopiados a la intemperie por suficiente tiempo, pueden retener un contenido tal de humedad que requieran el empleo de un combustible auxiliar. Esto no se observa con la misma intensidad con el chip leña, ni con la biomasa forestal, que se comporta en forma similar a aquél material.

Por otro lado, el aprovechamiento de la biomasa forestal supone economizar en los costos de preparación del terreno, plantación y mantenimiento. Las operaciones ganan en productividad, y determinadas faenas pueden ser mecanizadas. Este ahorro puede significar alrededor del 10% del costo total de la preparación del terreno previa a la plantación.

También los incendios forestales disminuyen o atenúan sus consecuencias, debido a la menor cantidad de combustible disponible en el campo.

El aumento en el consumo, el poco crecimiento de la oferta industrial, el valor energético, el ahorro en costos de preparación de terreno, plantación y mantenimiento de bosques, el impacto ambiental positivo al reemplazar combustibles fósiles y la disminución en riesgos por incendios, tornan relevante el estudio de alternativas de bajo impacto ambiental para el aprovechamiento de la biomasa de origen forestal, que se encuentra disponible luego de las operaciones de cosecha.

El objeto de este trabajo es presentar un sistema de aprovechamiento de residuos de cosecha en funcionamiento, los aspectos que determinaron su configuración, su rendimiento y la experiencia alcanzada en un año de operación.

Material y métodos

Residuos a aprovechar.

La oferta base se define como la cantidad de residuos dispuestos a borde de caminos, originados de cosechas realizadas con sistema “*full tree*”, con procesamiento mecanizado en la última fase del proceso.

El sistema implica la utilización de un *feller buncher* para el apeo de los árboles, *skidder* para la extracción de los árboles enteros y un *harvester* o procesador forestal dispuesto a borde de caminos, para el desrame, trozado y clasificación.

Así, las ramas y copas remanentes se disponen en pilas, formando una línea paralela al camino, a no más de 10 metros de éste.

Las mediciones realizadas indican que el rendimiento promedio de los bosques entre 14 y 17 años de edad, sin poda, resulta ser de 14-20 ton/ha, realizando el aprovechamiento antes de los 2-3 meses posteriores a la fecha de apeo. Estos valores pueden variar, en ocasiones sustancialmente, considerando situaciones de humedad particulares.

Tabla II: Ejemplos de producción, rendimiento y densidad.

Table II: Examples of production, yield and density.

Predio	Cuartel Alto Yasy	4 de Octubre
Municipio	Libertad	Piray
Especie	Pinus taeda	Pinus taeda
Año de Plantación	1997	1997
Inicio Triturado	90 días post cosecha	20 días post cosecha
Superficie (ha)	158,0	56,3
Producción total (ton)	2.400	1.686
Rendimiento (ton/ha)	15,19	29,95
Densidad (ton/m3)	0,275	0,313

Al caminar por el campo luego de la cosecha, se puede observar que una parte de las ramas y copas de los árboles apeados no llegan hasta la pila del material dispuesto a borde de caminos para ser aprovechado. Efectivamente, el proceso de apeo produce frecuentemente fractura de copas y de ramas, que quedan en el lugar. El arrastre también deja en el camino copas, ramas y acículas, que no llegan a su lugar de destino.

Operacionalmente se ha estimado que el material que queda en el campo es el 30-35% (en peso) del total aprovechable, compuesto de copas, ramas y acículas.

Imagen I: residuos de cosecha dispuestos a borde de camino.

Picture I: harvesting residues at the road side.



Selección del sistema de aprovechamiento

Las premisas fundamentales para la selección del sistema de aprovechamiento fueron:

- Menor costo, inversión e impacto.
- Aptitud para trabajo en doble turno.
- Totalmente mecanizado (sin faenas manuales más que la operación de equipos).
- Certidumbre de servicio post venta y provisión de repuestos.

Se analizaron dos sistemas:

- Enfardado de residuos.

- Triturado en campo.

El primero requiere un equipo enfardador y otro que realice la extracción (*forwarder* o tractor autocargable).

La ventaja fundamental de este equipo es que permite desplazamiento en toda el área de operación, y que genera un producto que se puede manipular con equipos utilizados en la zona (sobre todo en lo que tiene que ver con carga y transporte).

Las desventajas son las siguientes:

- Muy alto costo de adquisición.
- Al momento del análisis, ningún equipo operando en Latinoamérica (riesgo en capacitación, provisión de repuestos, servicio post venta, etc.).
- Enfarda alto porcentaje de acículas.



Imagen II: equipos para elaboración, carga y transporte de residuos enfardados.
Picture II: equipment for processing, loading and transporting of bundles.

Triturado en campo

Se basa en la operación de una trituradora móvil, abastecida por equipos que acercan el material y lo depositan sobre una mesa alimentadora, todo en el campo, realizado a borde de camino.

Sus ventajas son:

- Menor inversión inicial (dependiendo del tamaño del triturador seleccionado), utilizando para el abastecimiento y alimentación equipos en uso.
- Numerosa cantidad de equipos de varias marcas trabajando en el país, con servicio técnico en la región.
- Fábricas de trituradoras forestales en Brasil, con buena oferta de productos y servicios (Planalto, Vantec, etc.)
- Variedad en tamaños, potencia y configuración.

Desventajas:

- Exige sistema de carga y transporte específico por el tipo de producto.

Para mecanizar la alimentación de la trituradora, es necesario que la misma cuente con una mesa de alimentación, para lo cual es importante que el equipo incluya un motor estacionario independiente.

Si se tiene en cuenta que la biomasa a procesar se compone de ramas y copas, pero también de porciones de fuste fuera de medida por calidad o decisión de trozado, la potencia mínima estimada que debe tener el motor del triturador debe ser de 300 HP.

Teniendo en cuenta las restricciones impuestas y la disposición de los residuos, se opta por la conformación de un equipo de aprovechamiento con la siguiente configuración:

- Un equipo triturador de 320 HP.
- Dos tractores autocargables (para abastecimiento y alimentación, originalmente utilizados en extracción de raleos).
- 9 operarios (6 maquinistas, dos capataces, un sereno).



Imagen III: Acopio, abastecimiento y triturado de residuos forestales.
Picture III: Collection, supply and chipping of forest biomass.

Experiencias posteriores probaron que en vez de dos tractores autocargables, si se utilizan una máquina frontal para abastecer y un tractor con grúa tradicional en la zona (“hidrogrúa”) para alimentar, no sólo se mejora el tiempo útil del equipo astillador, sino que permitiría el abastecimiento de una trituradora adicional, situada contigua a la primera.



Imagen IV: Equipo recogiendo residuos de cosecha en el campo.
Picture IV: Equipment gathering residues of harvesting in the field.

La carga del material sobre camión se pensó originalmente realizarla con la cinta transportadora elevada que posee el equipo a tal fin. Algunos de ellos (como el de la foto), permiten el giro del implemento en un ángulo cercano a los 180°.

En períodos lluviosos o en zonas con dificultad de caminos, se observaron pérdidas de productividad por sobre el límite de rentabilidad del negocio.

Así, se decidió la carga sobre camión con grúa dispuesta a tal fin, en operativos de carga similar a los realizados para troncos. Se cambió el implemento de carga a una grúa forestal sobre camión en desuso para faenas de carga forestal.



Imagen V: Equipo de carga de biomasa de origen forestal.
Picture V: Loading equipment from forest biomass.

Resultados y Discusión

La curva de aprendizaje para llegar a la producción esperada demandó 5 meses de operación. La puesta a punto del equipo fue la razón fundamental de la demora, básicamente por la naturaleza de la materia prima a utilizar y el carácter intensivo de la faena.

Solamente después de asegurar la confiabilidad del equipo principal se incorporó el segundo turno.

A continuación se exponen algunos indicadores:

Producción:	4.000 ton/mes (en doble turno)
Horas totales:	352 horas/mes
Factor de uso:	75%
Productividad:	13-19 ton/hora (dependiendo material)
	55 m3/hora
Consumo de	
combustible:	17 litros/hora (320 HP)
Carga con grúa:	25 minutos/camión (95 m3)
Carga directa:	90 minutos/camión (95 m3)

La apuesta de Alto Paraná S.A. en el desarrollo de este equipo procesador de biomasa generada en el campo, es respuesta a una serie de requerimientos de mercado, ambientales y sociales, en un marco de mejora continua de sus operaciones.

En este contexto, merece ser mencionado que el presente proyecto no ha llegado a un techo, y que por el contrario, se debe seguir estudiando a efectos de optimizar los procesos en todos sus puntos.

Como se mencionó, el cambio del equipo de acopio y del sistema de alimentación, multiplican la eficiencia de estos y del triturador, por lo que se prevé abastecer con la misma configuración a una trituradora adicional.

Paralelamente, el mercado ofrece equipos con grúas incorporadas, y en general con elementos particulares que deben probarse para ponerse en valor. Son múltiples las situaciones en que equipamientos alternativos pueden dar valores de eficiencia superiores a los expuestos.

La demanda del producto resultante es sostenida y en aumento, por lo que deben evaluarse proyectos como este como alternativas productivas serias.

Conclusiones

Sin duda el desastre nuclear de 2011 en Japón ha tenido gran impacto en el mundo, impulsando la decisión del desarrollo de fuentes de energía renovables.

En Argentina, el gobierno federal y los provinciales coinciden en la importancia de aprovechar los residuos forestales y de la agroindustria para generar energía eléctrica en el mediano plazo.

A nivel regional, es creciente la demanda de biomasa, lo que requiere que proyectos de esta naturaleza se pongan en marcha y evolucionen hacia sistemas de mínimo impacto.

Habrá que seguir trabajando a efectos de optimizar los sistemas. En productividad, para hacerlos más eficientes y económicos. En lo ambiental, para mantener el cuidado sobre el suelo y sus nutrientes. En lo operativo, para hacerlos más seguros y protejan la salud de quienes trabajan en él.

Agradecimientos

Al Ingeniero Forestal Ricardo Austin, por su participación y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Al Licenciado Esteban Carabelli, por su colaboración constante en todo lo que signifique un aporte positivo en la mejora del medio ambiente.

Bibliografía

Sanz Infante, F; Piñeiro Veiras, G., 2003. Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria. Parte I: Situación Actual y Evaluación de Sistemas de Tratamiento. Area de Innovación y Tecnología del CIS-Madera. Galicia, España. Proyecto realizado por CIS-Madera en colaboración con las universidades de Santiago y Vigo.

- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Energía, PERMER, 2007. Estudio de evaluación de los recursos de biomasa en las provincias de Misiones y Corrientes. Localización y estudio de factibilidad de la instalación de un proyecto de generación. Informe final.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 2007. Guía para el uso y aprovechamiento de la biomasa en el sector forestal. Available at: [http://www.geoscopio.net/empresas/asefmo/Guia%20Biomasa%202007%20\(1\).pdf](http://www.geoscopio.net/empresas/asefmo/Guia%20Biomasa%202007%20(1).pdf) . fecha de consulta: 14/02/2012.
- Siegmund, T., 2011. La bioenergía tras Fukushima. The Bioenergy internacional Edición Español. N° 12, pág. 5.
- Cámeron, D., 2011. Argentina y el uso de la biomasa para energía. The Bioenergy internacional Edición Español. N° 12, pág. 28-29.
- Technology review-Biomass special, 2012. Green giants growing strong. International forest industries. ISSUE 25. pág. 17-24.

APROVECHAMIENTO ECONÓMICO-AMBIENTAL SUSTENTABLE DE LOS RESIDUOS FORESTALES DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS.

ECONOMIC UTILIZATION OF WASTE ENVIRONMENTAL SUSTAINABLE FORESTRY ENTRE RÍOS PROVINCE.

Morel; I.J

Técnico en Administración de Empresas Rurales. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia. E-mail de contacto: ignaciojaviermorel@hotmail.com

Resumen

Entre Ríos es una de las provincias, junto a Corrientes y Misiones, con las mayores superficies forestales implantadas en Argentina. Posee un ritmo de corte de aproximadamente 4000 hectáreas por año, en donde el aprovechamiento de los montes produce gran cantidad de residuos madereros, los que también aparecen en la etapa de transformación primaria, en industrias como los aserraderos. Aprovechar al máximo los residuos del sector, tanto en montes como en industrias, generará una mayor eficiencia en las empresas, mejorando su rentabilidad y mitigando los efectos ambientales que el abandono de los mismos causa. La elaboración de chips de madera, mediante los residuos de montes e industrias, como una alternativa para la producción de energía limpia y renovable, no solo soluciona este problema, sino que también, logra agregar valor al proceso productivo de muchas empresas forestales.

Palabras clave: montes, industrias, chips de madera, energía renovable.

Summary

Entre Ríos is one of the provinces, with Corrientes and Misiones, with the largest forest areas established in Argentina. It has a cutting rate of approximately 4000 hectares per year, where the use of forests produces large quantities of wood waste, which also appear in the primary processing stage, in industries such as sawmills. Making the most of the waste sector, both in forests and in industries, generate greater efficiency in business, improving profitability and mitigating the environmental effects that the abandonment of the same cause. The production of wood chips through the forests and industry residues as an alternative for the production of clean, renewable energy, not only solves this problem, but achieved to add value to the production process of many forestry companies.

Key words: forest, industry, wood chips, renewable energy.

Introducción

Las condiciones ecológicas y la importancia de la localización estratégica de las plantaciones forestales respecto a los centros poblados, junto con la existencia de plantas celulósicas, dieron como resultado la formación de polos o cuencas forestales en Argentina.

Por ello es que hoy en día casi el 80% de las plantaciones se encuentran en la denominada “Mesopotamia” (provincia de Entre Ríos, Corrientes y Misiones) y Buenos Aires-Delta, debido a la cercanía con la Capital Federal y el Gran Buenos Aires.

De acuerdo al inventario satelital publicado por la dirección forestal, secretaria de agricultura ganadería y pesca (SAGPyA; 2002) y estimaciones realizadas por Braier (2004), se tiene que Argentina cuenta con 1,1 millones de hectáreas de bosques cultivados.

La provincia más importante es Misiones, dado que tiene la mayor superficie implantada y los bosques nativos con mayor actividad industrial del país. Le siguen en importancia Corrientes, Entre Ríos, y delta de Buenos Aires; existen otros núcleos forestales en Santa Fe, Córdoba y Salta.

Por su parte, Entre Ríos presenta condiciones climáticas y suelos favorables para el crecimiento de especies de gran productividad como pinos y eucaliptos. Los departamentos de Federación, Concordia, San Salvador, Colón, Concepción del Uruguay y Gualaguaychú forman parte de dicha área. Según el Censo Nacional Agropecuario 2008, la superficie forestada en Entre ríos es de 122.681 ha aproximadamente.

Esta superficie duplica la existente a principios de 1980 y representa algo más del 10% de la superficie forestada a nivel nacional, sin embargo la provincia cuenta con 4 millones de hectáreas con aptitud forestal, o sea el 48% de la superficie provincial, de las cuales 2,7 millones son de suelos vertisólicos de rápida incorporación a la actividad forestal.

En cuanto a la superficie forestada por especie, tres cuartas partes corresponden a eucaliptos, alrededor de un 10% es de sauce, otro tanto de pino, y una pequeña proporción de álamo.

Ahora bien, toda esta actividad forestal en la provincia de Entre Ríos es generadora a su vez de una gran cantidad de residuos, tanto en los montes donde se realiza el aprovechamiento forestal, como así también en aquellas industrias encargadas de la transformación primaria de los rollizos de madera.

Es por ello que se debe aprovechar este recurso, buscando una alternativa sustentable a nivel ambiental y económico. De aquí, que la elaboración de chips logra juntar estos dos objetivos en un solo producto.

En la actualidad, estas pequeñas piezas de madera no son únicamente sinónimo de procesos enfocados hacia el cuidado ambiental y la ecología, sino que además representan grandes sumas de dinero para las empresas del sector forestal que las producen. Sin duda alguna, el cuidado del medio ambiente fue lo que incitó a las industrias madereras a utilizar las chipeadoras como equipos eficaces para el reciclaje, sin embargo, la gran demanda de chips de madera como material base para la creación de nuevos productos y como una forma de energía alternativa o limpia; impulsó a la industria forestal, y a los aserraderos, a ver también en los chips un negocio rentable.

Materiales y métodos

Como primera medida para cuantificar y conocer la cantidad y disponibilidad de residuos en montes e industria, se toman como referencia: las superficies forestadas en la provincia de Entre Ríos, las cuales ascienden a un total aproximado de 90.050 hectáreas (Informe de FAO 2004 y 2010); el ritmo promedio de hectáreas cortadas al año (Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER y el Gobierno de Entre Ríos, 2007); junto con el promedio de desperdicios que queda dentro del monte. (Sánchez Acosta; 2010).

En lo que respecta a la industria se tiene en cuenta los rendimientos promedios que una tonelada de rollizo tiene una vez que ingresa a los aserraderos (Mastrandrea; 2009), tales como: 41% madera aserrada (producto principal); 26% costaneros (residuo); 12% despuntes (residuo); 11% aserrín (residuo) y 10% corteza (residuo).

A la hora de hablar del balance energético de la producción forestal, debemos tener en cuenta que cantidad de energía es generada por sobre la consumida. Este método tiene como objetivo poder comparar que cantidad de unidades de energías se obtienen a partir de una unidad de energía destinada en el proceso de producción. Tomando como referencia un trabajo acerca de Dendroenergía Renovable de Eucaliptus para la provincia de Entre Ríos (Sánchez Acosta; 2010), se realiza una primera aproximación acerca del tema, donde se describe un balance energético de la producción primaria de la madera.

Para el cálculo del balance energético de la producción de chip, se realizó dos entrevistas a Industrias referentes del departamento de Concordia, dedicadas a la elaboración de este producto, en base a residuos de montes y costaneros provenientes de aserraderos; donde se recabó datos de consumo de maquinarias, productividad de las mismas, superficie de las empresas, entre otros.

El balance energético es expresado puntualmente en una medida convencional, denominada JOULE, además de medirse con dos indicadores muy importantes, por un lado, el valor de energía neta (VEN), el cual expresa la cantidad de energía generada en la elaboración de un producto; y por otro lado tenemos el indicador de relación energética (RE) o también llamado indicador de Eficiencia Energética (EfE), el cual muestra la relación entre generación y consumo energético, es decir, muestra cuanta energía es generada en términos de la energía consumida (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva; 2008).

En lo que respecta puntualmente al mercado de los chips, se realiza un análisis de precios, en base a series de precios forestales obtenidas del Suplemento Planillas de Precios Forestales EEA INTA Concordia. 2003/2011; para conocer la tendencia de los mismos; y con el fin de mostrar cómo será la evolución de dichos precios, se elaboran proyecciones para el periodo 2012/2015, utilizando el método de Análisis de Series Temporales (García Venturini y Castelli; 2001: Capítulo 5 y 6).

Residuos forestales, sus problemáticas.

Debido a la existencia de las plantaciones de Eucaliptus en la provincia de Entre Ríos, y a las actividades de manejo como podas y raleos, selección de rebrotes, posteo, y finalmente la tala rasa, es que se generan residuos forestales, en este caso denominados “residuos de montes”.

Los residuos no solo son generados en los montes, sino que también aparecen en las fases industriales. El ejemplo más claro de esta cuestión, ocurre en los aserraderos, donde se obtienen residuos de la transformación primaria de la madera.

En cuanto a la corteza, estudios realizados en INTA (Goya, 2007) muestran que la misma es responsable de una importante exportación de nutrientes y minerales en el momento de la cosecha, por lo que sería preferible dejarla en el monte para el reciclado de los mismos. Este punto acerca de la extracción de los nutrientes de las plantaciones forestales, es sumamente importante, ya que una afectación o disminución de los mismos por la elevada extracción de residuos, perjudica en el mediano y largo plazo, tanto el crecimiento de dichas plantaciones como la rentabilidad del negocio. (Goya, Frangi, Denegri, Larocca; 2009)

Es por ello que se debe tener en claro y analizar los diferentes escenarios para realizar un aprovechamiento sustentable de los residuos en el tiempo, teniendo en cuenta el cuidado del ambiente y la productividad futura de la forestación.

Disponibilidad de residuos forestales en Entre Ríos

Como bien se sabe, no se puede congeniar un nuevo negocio, sin analizar cierto tipo de variables, y es allí donde la disponibilidad de la materia prima, es una de las variables esenciales a la hora de tomar una decisión.

A partir del 2011, según las proyecciones presentadas, (Sánchez Acosta; 2010) comienza a generarse una brecha amplia entre oferta y demanda maderera. Indicando una sobreoferta de madera de poco diámetro, ya que la demanda llega a ser de 1.5 millones de m³ (aserraderos + tablero + celulosa) y la oferta llegará casi a 4 millones de m³.

Esta diferencia que existirá entre oferta y demanda, podría ser solucionada por la elaboración de chips y pellets de madera, para un uso energético básicamente. Además de este dato, se debe tener un panorama de la cantidad de residuo con la cual dispone la provincia; y para ello debemos tener en cuenta ciertos detalles.

Las hectáreas totales forestadas en Entre Ríos con eucaliptus, que llegan aproximadamente a las 90.050 hectáreas. (Informe de FAO 2004 y 2010)

Por otro lado el remanente de madera en el monte puede estar entre las 14 y 25 t/ha de residuos (según información de contratistas de la zona; 2011), las cuales están compuestas por: puntas de los árboles, ramas y trozas de mala forma, dependiendo de variables como densidad, edad, forma de los árboles, y la mayor exigencia o no de diámetro de la industria de destino.

De acuerdo a determinaciones de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER y el Gobierno de Entre Ríos en 2007 el ritmo de corte en la región noreste de Entre Ríos fue de casi 4.000ha/año; lo que deriva en que los residuos de cosecha de la región pueden superar valores de 56.000 t/año y hasta llegar a casi 100.000 t/año; dependiendo dicha diferencia de las variables nombradas anteriormente.

A fin de determinar un volumen de residuos de montes, se toma desperdicio promediopor hectárea, entre 56.000 tn/año y 100.000 tn/año,resultando de esta manera un total de **78.000 tn/año** de desperdicios.

El consumo total anual de los aserraderos de la provincia de Entre Ríos, estimado por Mastrandrea (2009), es de **1.280.000tn/año**, de las cuales 1.175.550 tn/año corresponden a Eucaliptus grandis.

Ahora bien, teniendo en cuenta el rendimiento promedio de una tonelada que ingresa a una industria de aserrío (detallado anteriormente en la metodología del presente trabajo), podemos arribar a los siguientes resultados en cuanto al volumen anual de cada producto y residuo:madera aserrada: 524.800 tn/año; costaneros: 332.800 tn/año; despuntes: 153.600 tn/año; aserrín: 140.800 tn/año; y corteza: 128.000 tn/año.

Como se puede observar el aprovechamiento eficiente de los residuos de los montes y de industrias; es un tema más que interesante para analizar, dado que tomando los datos anteriormente descriptos; en la provincia de Entre Ríos los residuos existentes, (sumando los que son dejados en el monte y los generados en las industrias de aserrío), se aproximan a las **833200 tn/año**. Este volumen representa un claro potencial de aprovechamiento, donde se pueden desarrollar nuevos negocios para toda la zona forestal de la provincia de Entre Ríos.

Balance energético

Se ha visto que el potencial y la disponibilidad de recursos para la producción de energía en base a residuos forestales son altamente favorables. Sin embargo,no se debe perder de vista, el balance energético de la producción primaria de madera y de la elaboración de chips para energía.

De este modo, en la fase de establecimiento de una plantación de Eucaliptus Grandis, que produce 30 m³/ha / año de madera, tendrá un gasto de energía de 35.000 calorías por tonelada de madera seca producida. En lo referido al transporte tomando un radio de 500 km,

se estiman unos 70.000 calorías por tonelada de madera seca extraída y transportada, por lo que la energía gastada hasta llegar a la industria es de 105.000 calorías por tonelada de madera seca. (Sánchez Acosta; 2010)

Una caloría equivale a 4.18 Kilo joule (Kjoule), (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva. Marzo 2008: 38.), entonces, la fase primaria de una plantación de Eucaliptus Grandis, tomando una tonelada de materia seca que llega a la industria consume: 438.900 Kjoule.

De acuerdo con valores energéticos con 30% de humedad, la energía disponible por cada tonelada de madera es de 2.8 millones de caloría, lo que equivale a 1.170.400 Kjoule, es decir que su rendimiento será de un 96%, hablando a las claras de su balance energético positivo. Las cifras en Mega Joule (Mjoule) son: (1 Mega Joule = 1000 Kilo Joule)

Tabla 1: balance energético de la producción primaria de Eucaliptus Grandis en Mjoule/tn

Table 1: energy balance of the primary production of Eucalyptus Grandis Mjoule / tn

Producto	Energía consumida	Energía generada	VEN	RE ¹
Tn madera seca	439	1170	731	2.66

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la producción de chip; el balance energético puede estudiarse desde dos ámbitos; uno es el de las chipeadoras móviles con motores a combustible y otro es el de las chipeadoras fijas con motores eléctricos.

En el caso de una chipeadora fija, se toman como referencia dos casos reales visitados de Industrias Chiperas de la localidad de Concordia, provincia de Entre Ríos.

En lo que se refiere a la energía consumida en el proceso de chipeo para este caso, se toma el consumo de combustible del tractor cargador y el consumo de la chipeadora eléctrica.

Para la estimación de la energía generada se toma un poder calórico inferior del chip de 4370 kcal/kg (Sánchez Acosta; 2010), a una humedad del 10%.

Tabla 2: balance energético de una chipeadora a motor eléctrico, en Mjoule/Tn

Table 2: energy balance of electric motor chipper in Mjoule / Tn

Producto	Proceso	Energía consumida	Energía generada	VEN	RE
Tn de chips de eucalipto	Chipeo eléctrico	82.28	18266.6	18184.32	222

Fuente: Elaboración propia en base a visitas realiza a industrias elaboradoras de chips

Aquí se puede observar, desde el punto de vista de la eficiencia energética, el alto valor de la relación entre la energía consumida en el proceso de elaboración de chips, y la energía potencial generada en una tonelada de chips; lo que nos demuestra de forma concreta un balance energético sumamente positivo.

Ahora bien, cuando se habla de una chipeadora móvil de una producción de 40 tn/día, se necesita un motor de por lo menos 75 hp, el cual consume alrededor de 90 litros por día.

¹ VEN: valor de energía neto, el cual es el resultado de restar la energía generada en un proceso por aquella consumida en dicho proceso.

RE: relación energética, es el valor que se obtiene al dividir la energía generada por la energía consumida.

Este tipo de chipeadoras tiene incluida la garra cargadora o bien son alimentadas por un operario, es por ello que este proceso no es considerado a la hora del cálculo del balance energético.

Manteniendo la misma estimación que en el caso anterior, acerca de la energía generada por cada tonelada de chips, la tabla nos quedaría, de la siguiente manera:

Tabla 3: balance energético de una chipeadora con motor a combustible, en Mjoule/Tn
Table 3: energy balance of a fuel-motor chipper in Mjoule / Tn

Producto	Proceso	Energía consumida	Energía generada	VEN	RE
Chips de eucalipto	Chipeo a combustible	62.70	18266.6	18203.9	291.3

Fuente: Elaboración propia en base a visitas realizadas a industrias elaboradoras de chips.

Los chips de madera

Tomando como referencia que solo el 24% de los costaneros producidos en los aserraderos de las localidades de Concordia, Colon, Federación y Chajarí son elaborados o convertidos en chips (Mastrandrea; 2009), obteniendo al año la suma de aproximadamente algo más de \$12.000.000, se puede dar nota del gran potencial de aprovechamiento que aún existe en estas industrias, para un desarrollo y crecimiento del negocio.

Del mismo modo sucede en los montes, donde es casi nulo el aprovechamiento que se realiza de los residuos para la producción de este bien.

Los precios del chip con corteza, desde el año 2006 al 2012, se presentan en el siguiente gráfico:

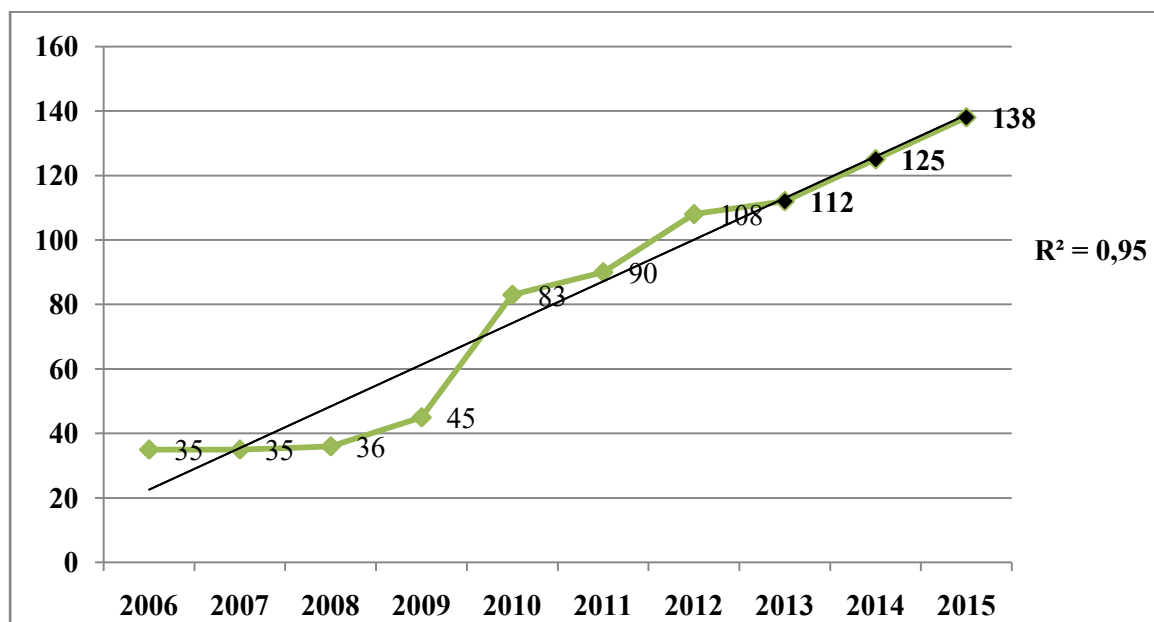


Grafico 1: Precio del chip de eucaliptus sin corteza.

Graph 1: Price of eucalyptus bark chip.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Planillas de Precios Forestales de 2003/2011. Estadística de precios forestales EEA INTA Concordia.

Se puede observar como la línea de tendencia se ajusta al comportamiento real del precio en el periodo 2003/2011; es decir no existe una gran variación de la tendencia respecto del precio de la tonelada de chip, lo que se puede ver en el elevado valor que exhibe el R^2 . Este ajuste de tendencia permite realizar proyecciones acerca de los precios.

Tomando el método de Análisis de Series Temporales, podemos proyectar el precio del producto para un periodo determinado; en este caso tal periodo abarca desde el año 2013 hasta el año 2015. Dicho tiempo se puede ver en la gráfica, representado por los puntos negros.

Estas proyecciones son válidas en tanto las condiciones macroeconómicas internacionales y nacionales del sector forestal se mantengan, además vale aclarar que estas perspectivas favorables en el valor del chip, se ven condicionadas por la escasez acentuada del petróleo en los últimos años.

También es importante destacar que existe un aumento interanual para el periodo 2006/2011 de aproximadamente un 20,6%.

Si tomamos por un momento la demanda de estos productos, la misma está distribuida entre las industrias de papel, (celulosas), y fábricas de tableros, ya sean estas de partículas o fibras, como por ejemplo Masisa en la zona de Concordia, Sadepan en la localidad de Concepción del Uruguay, Noble en Rosario y Alto Paraná en la localidad de Zarate, entre otras industrias que muchas veces usan este bien como una forma de energía alternativa para la alimentación de sus calderas.

Resultados y discusión

Debemos tener en cuenta que el negocio del chip en la provincia de Entre Ríos tiene posibilidades de crecimiento si se aprovechan ciertas condiciones de mercado, como el precio que se ha impuesto en estos últimos años, acompañado de la demanda por parte de las industrias, y de la capacidad del mismo para resolver una problemática ambiental, como es el abandono de los residuos.

El trabajo presentó la disponibilidad de residuos que tiene la provincia y junto a ello el balance energético de la producción de chips; mostrando de esa forma lo positivo que este producto resulta para el cuidado del medio ambiente, aprovechando recursos que quedan abandonados en montes e industrias del sector.

En lo referente al precio, se puede ver el aumento sostenido que se ha dado en los últimos 4 años y las perspectivas favorables para los años futuros. Otro punto importante es la variedad de industrias demandantes del producto ya sea para uso como materia prima o como forma de energía alternativa.

Lo que se debe tener en cuenta, es hasta qué punto es económicamente rentable retirar los residuos del monte y trasladarlos hasta las industrias para ser convertidos en chips, según las distancias que existan, ya que los fletes tienen un alto impacto en el costo total del producto, y la extracción total de algunos residuos, como la corteza, repercute de manera negativa en la productividad futura del monte, dado a los nutrientes que la misma se lleva.

Conclusiones

De los datos que se han expuesto en el trabajo se puede concluir, que el aprovechamiento de los residuos forestales para la elaboración de chips, ya sea para uso como materia prima en otros productos como tableros o papel, o bien como energía alternativa, renovable o limpia; es una gran oportunidad para las empresas del sector forestal.

Esta oportunidad no solo beneficia económicamente a las industrias del sector, sino que también, los beneficios se ven por el lado ambiental, ya que se aprovechan recursos que son abandonados y causantes de contaminación, para la producción de un bien.

Los chips son una alternativa más que interesante a la hora de pensar en un nuevo negocio, los mismos poseen la particularidad de convertir a las empresas forestales en “amigas” del ambiente, obteniendo beneficios mutuos y logrando un conexión en donde no existe un ganador y un perdedor; sino más bien dos actores del sector forestal mutuamente favorecidos.

Agradecimientos

Agradezco a los docentes de la UTN Concordia que me han ayudado en el transcurso del trabajo, a la Estación Experimental INTA Concordia y a sus profesionales, y mi familia por el apoyo que siempre me han dado a lo largo de la carrera

Bibliografía

- Braier, Gustavo (2004). “Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020”- FAO.
- Goya, Juan; Frangi, Jorge; Denegri, Gerardo; Larocca, Federico (2009). “Simulación del impacto de diferentes regímenes de cosecha sobre el capital de nutrientes e índices económicos de plantaciones de Eucaliptus Grandis en el NE de Entre Ríos, Argentina”. Revista de la Universidad de la Plata (UNLP), disponible en: <http://www.revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/article/view/18>
- Ing. Ftal. Mastrandrea, Ciro e Ing. Ftal. Vergara, Laura (2009). “Diagnóstico del Sector de transformación primaria de la madera, en la región del noreste de Entre Ríos” INTA EEA Concordia.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e innovación productiva. (Marzo 2008: 38). “Insumos para la producción de Biocombustibles. Estudio exploratorio”.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO; 2011). “Situación de los Bosques en el Mundo”
- García Venturini y Castelli. (Marzo 2001) “Los métodos Cuantitativos en las Ciencias Sociales. Capítulo 5 y 6.” Ediciones cooperativas 1º Edición.
- Sánchez Acosta, Martín (Octubre 2009). “Plan estratégico Nacional Agropecuario y agroindustrial - PEA 2 - Cadena foresto industrial de la Provincia”. EEA INTA Concordia, Entre Ríos.
- Sánchez Acosta, Martín (Febrero 2010), “Dendroenergía renovable de Eucalipto en Entre Ríos, Argentina” EEA INTA Concordia, Entre Ríos.

ENSAYOS COMPARATIVOS PARA LA PRESENCIA DE ENZIMAS PROTEOLITICOS EN ARBOLES DE LA SELVA ALTOPARANAENSE MISIONERA (ARGENTINA).

COMPARATIVE ASSAYS OF THE PRESENCE OF PROTEOLYTIC ENZIMES IN TREES OF THE PARANA RAIN FOREST OF MISIONES (ARGENTINE).

Arguelles y Andrés, T.¹; Callaba, R.²; Rodriguez, G.³

¹ Profesora titular Fisiología Vegetal, FCF. UNaM. Eldorado, Misiones. G-mail: arguelles@facfor.unam.edu.ar

² Ayudante de cátedra, Fisiología Vegetal. FCF. UNaM. Eldorado

³ Estudiante de la carrera de Ingeniería Forestal. FCF. UNaM. Eldorado

Resumen

El objeto de este estudio fue el encontrar nuevos vegetales con drogas de potencial biológico activo. Se ensayaron para determinar actividad, hojas, frutos y corteza de seis árboles nativos de la selva Altoparanaense misionera (Argentina). Se determinó la actividad proteolítica utilizando el método de Kunitz, que usa caseína como sustrato (1947), y la técnica más reciente de Koritsas (1995). Actividad fue detectada en tejido fresco de hojas de *Anadenanthera macroparpa*, *Tabernaemontana australis* y *Sebastiana brasiliensis*, y también en frutos de *Jacaratia dodecaphylla*. Ambas técnicas coincidieron en los resultados, siendo el método de Koritsas más rápido en su desarrollo.

Palabras clave: Actividad proteolítica, Selva Altoparanaense, Argentina

Summary

The study was aimed at discovering new plant drugs of potential biological activity. Leaves, fruits and bark of six native trees of the Parana rain forest, in the province of Misiones (Argentina), were assayed for activity. Proteolytic activity was assayed by the method of Kunitz using casein as substrate (1947), and the more recent technique of Koritsas (1995). Activity was detected in fresh leaf tissue of *Anadenanthera macroparpa*, *Tabernaemontana australis* and *Sebastiana brasiliensis*, and also in fruits of *Jacaratia dodecaphylla*. Both techniques were coincident in their results, the Koritsas' method was much faster.

Key words: Proteolytic activity, Parana Rain Forest, Argentina

Introducción

El gran grupo de enzimas que hidrolizan los enlaces peptídicos de proteínas y péptidos han recibido varios nombres desde que se comenzaron a estudiar. Estas enzimas han sido conocidas como proteasas, proteinasas, enzimas proteolíticas y péptido-hidrolasas. En 1928 Grassman y Dyckerhoff establecieron la primera distinción importante entre las hidrolasas que actúan directamente sobre las proteínas (proteinasas) y aquellas que lo hacen sobre los péptidos que se producen durante la proteólisis (peptidasas).

Se eligieron las proteinasas presentes en las plantas autóctonas de la selva Misionera como objeto de estudio, porque entre los compuestos químicos naturales útiles al hombre las

proteinasas han tenido y siguen teniendo un papel relevante. Mencionaremos a continuación algunos de sus usos:

La hidrólisis enzimática de una proteína se utiliza en un número de industrias por una amplia variedad de razones, incluyendo los cambios en el sabor del producto, en la textura y en el aspecto (Adler-Nissen, 1986). La papaína y la bromelaina, son empleadas como agentes para la tiernización de las carnes, ya sea por aplicación directa del jugo sobre el músculo del animal muerto, ya por inyecciones endovenosas antemorten (Bernholdt, 1982).

Algunas proteinasas microbianas se utilizan para hidrolizar las proteínas solubles presentes en la cerveza, que si no son tratadas, podrían precipitar y producir opacidad. Otras aplicaciones de las proteinasas incluyen la hidrólisis de la gelatina para evitar la gelificación en productos alimentarios, y también en la hidrólisis del gluten en la masa del pan para controlar la viscosidad durante la manipulación y para incrementar la textura y apariencia final (Gacesa et al., 1990).

Existen aplicaciones en las que la acción de estas enzimas es crucial para el proceso completo. Uno de ellos es el del hidrolizado de las proteínas de soja y la manufacturación de la salsa de soja (Yokotsuka, 1985).

El principal derivado lácteo en la alimentación es el queso, el cual se produce mediante la precipitación y recuperación de la caseína de la leche. La caseína puede ser desdoblada enzimáticamente para inducir la coagulación. La enzima elegida para este proceso es la quimosina (peptidohidrolasa aspártica) que se extrae a partir del cuarto estómago de terneros sin destetar. La propiedad más importante de esta enzima es su capacidad para precipitar la caseína sin promover un nivel de proteólisis elevado. En los terneros maduros, la quimosina es reemplazada por la pepsina a nivel estomacal. La pepsina no puede ser utilizada pues provoca un grado superior de proteólisis en la leche y conduce a la formación de péptidos cortos, con sabor amargo que empaña el aroma final de los quesos.

La limitación de las fuentes de obtención de la quimosina, ha llevado a la investigación de enzimas alternativas, y hasta la fecha el reemplazo enzimático de mayor utilidad se ha obtenido del hongo *Mucor miehei*. La enzima producida por este hongo muestra una especificidad similar a la quimosina, pero es más estable, y puede conducir a posteriores e indeseables rupturas proteolíticas tras la coagulación, y aunque se ha empleado con éxito no siempre es adecuada para la elaboración de todo tipo de quesos.

Una aplicación particular es el empleo de proteinasas en las preparaciones comerciales de detergentes, denominadas como polvos de lavado biológico (Barfoed, 1983)

Existe un grupo de proteinasas de gran valor farmacológico, que son utilizadas como drogas para el tratamiento de enfermedades malignas, inflamatorias y de coagulación sanguínea. Estas enzimas trabajan modulando las funciones de adhesión de moléculas a células sanguíneas y endoteliales, regulando y activando células del sistema inmunológico y su producción de citoquinas.

Para la terapia de enfermedades malignas e inflamatorias estas proteinasas se utilizan en

- Aditivos en quimioterapia

- Aditivos en radioterapia (para reducir inflamación y edema)

- Aditivos en cirugía

- Aditivos para prevenir edemas linfomatosos reduciendo la linfocongestión, los desechos celulares, la viscosidad de los exudados y aumentando la estimulación de la fagocitosis (Delaria et al., 1994; Delaisse et al., 1984).

Se utilizan también como una alternativa o un complemento a las medicaciones con glucocorticoides, con antirreumáticos no esteroideos y con agentes inmunomodulantes. Poseen muy baja toxicidad, lo que las hace herramientas valiosas para controlar enfermedades inflamatorias crónicas.

Por administración oral se utiliza extensamente la bromelaina, nombre adjudicado a un extracto acuoso de tallos y flores inmaduros de ananá (*Ananas comosus* Merr. variedad Cayenne), que está constituido por una mezcla compleja de tiol-endopeptidasas y otros componentes no bien caracterizados. También es utilizada la papaína, nombre que recibe el látex secado de *Carica papaya*, también constituido por una mezcla compleja de tiol-endopeptidasas y otros componentes.

Estos dos extractos se usan en tratamientos post quirúrgicos para el desbridamiento de heridas, sobre todo en odontología, y como coadyuvantes en el tratamiento de trastornos digestivos (Mantell et al., 1985). Existen en farmacia varios medicamentos comerciales que los incluyen en sus recetarios como el Homocisteon compuesto de Purissimus S.A., el Pankreoflat A.D. de Raffo S.A. etc.

En particular, también se han utilizado enzimas purificadas: la administración intravenosa de L-asparaginasa (E.C.3.5.1.1) para el tratamiento de ciertos neoplasmas que afectan a las células sanguíneas, ha sido utilizada con éxito, especialmente en el caso de leucemia linfocítica aguda, con un 60% de remisiones (Cooney y Rosenbluth, 1975).

La uroquinasa o el activador del plasminógeno U aislada de la orina humana ha sido utilizada con éxito para la eliminación de coágulos. Esta enzima produce una proteólisis parcial del plasminógeno transformándolo en plasmina, la cual disuelve el coágulo de fibrina por vía normal (Maciag et al., 1977).

La quimopapaína ha sido utilizada en el tratamiento de hernias de discos intervertebrales. La enzima se inyecta directamente en el centro del disco afectado, donde digiere los proteoglicanos (Buttle et al., 1989; Dekeyser et al., 1995). Las moléculas fragmentadas de los proteoglicanos se difunden fuera del disco ocasionando una reducción en la presión hidrostática de la raíz nerviosa y por lo tanto aliviando el dolor y la incapacidad. Otra aplicación de la quimopapaína se basa en la preparación de las células de la médula ósea para el injerto (Fruehauf et al., 1994).

Búsqueda de Fuentes de Peptidasas

En la búsqueda de una especie vegetal que resultara buena productora de proteinasas, se utilizaron como criterios selectivos la biomasa disponible, la accesibilidad de su obtención y la posibilidad de su aprovechamiento industrial.

La búsqueda se efectuó entre árboles autóctonos de la selva altoparanaense misionera. La presencia de proteinasas se puso de manifiesto sobre la caseína como sustrato y mediante la técnica descrita por Koritsas (1995).

Las especies estudiadas fueron :

a. *Sebastiania brasiliensis* (Spreng.) o “Blanquillo” perteneciente a la familia de las euforbiáceas, muy rica en constituyentes con actividad biológica. Es un árbol de 19 m de altura en promedio, llamado en el lenguaje guaraní “ivirá cambi” lo que significa palo de leche o madera de leche, en referencia al látex que exuda cuando la corteza es cortada. El látex se utiliza en medicina popular para la remoción de verrugas y como calmante del dolor de muelas. La zona de distribución de la especie comprende el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y norte de la Argentina.

b. *Tabernaemontana australis* o *Peschiera australis* (Müll, Arg.) Miers (Apocinaceae), conocida como “palo víbora”, es un árbol de 10 – 20 m de altura, con látex, que se encuentra en los trópicos y subtrópicos americanos. El látex se utiliza para las verrugas y las hojas como cataplasma para tratar tumores y curar heridas graves, como las producidas por la mordida de serpiente.

c. *Jacaratia dodecaphylla* (Vell.) o “árbol pan” (Caricáceae) se encuentra en Brasil, Paraguay y noreste de Argentina. El látex de sus frutos se utiliza para curar los desordenes estomacales y el dolor de cabeza asociado.

d. *Roupala cataractarum* (Sleumer), es una proteácea encontrada solamente en el área de las cataratas del Iguazú. El pueblo guaraní de la zona reporta que las semillas son venenosas.

e. *Erithroxylon deciduum* (Schulz) o “coca salvaje” (Eritroxiláceae) es un pequeño árbol que crece en lugares húmedos cerca de los cursos de agua, también se usa para los trastornos estomacales.

f. *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Spegazzini, es una leguminosa llamada regionalmente “cebil colorado”, un árbol componente del estrato aéreo de la selva altoaranaense y de las Yungas tucumanas. La semilla se utiliza como abortiva, narcótica y alucinógena.

a,b,c,d,e,f según Erize, 1997 y Eisner, 1996.

Materiales y métodos

a) Determinación de la actividad proteolítica sobre sustrato caseína

La búsqueda de fuentes de peptidasa condujo a la investigación de actividad sobre tejido fresco utilizando la técnica de Kunitz (1947).

La investigación de actividad se efectuó con 2 g de tejido fresco extrayendo la enzima por medio de agitación magnética con buffer fosfato 0,1 M; pH 7,0 durante dos horas, en baño de agua mantenido a la temperatura de fusión del hielo. La mezcla se clarificó por centrifugación a 5000 xg en frío, el sobrenadante se usó como fuente de enzima.

La caseína tipo Hammarsten (Merk) fue preparada diariamente al 1%, disolviendo en buffer fosfato, pH 6,5 y manteniendo la disolución en baño María a 100°C de ebullición suave, durante 20 minutos, filtrando en caliente y dejando enfriar.

A 500 µL del buffer de extracción se añadieron 50 µL del extracto de enzima permitiendo que las proteínas del extracto se activaran al estar en contacto con el buffer a 37°C durante 5 minutos, al cabo de los cuales se añadieron 550 µL de solución de caseína. Se incubó el extracto durante 20 minutos a 37°C y se detuvo la reacción con 900 µL de ATC al 5%. El blanco de reacción se preparó reemplazando la solución de enzima por una cantidad equivalente de búfer. Los productos de la hidrólisis de la caseína por la acción de la enzima se determinaron en espectrofotómetro Camspec (U.K.) a 280 nm (Beynon y Bond, 1989).

b) Investigación de actividad según la técnica de Koritsas (1995).

Se disolvieron 4 mg del ester N-hidroxisuccinimida biotinilada en 1 mL de dimetilformamida; 100 µL de esta disolución fueron añadidos a 5 mL de solución de gelatina (1 mg/mL en 0,2 M NaHCO₃; pH 8,8 que contenía 0,15 M NaCl). Se permitió que la reacción procediera a la temperatura ambiente (30°C) con agitación suave durante 15 minutos, se paró la reacción con 75 µL de NH₄Cl 1M, pH 6,0. La solución se dializó contra 3 cambios de agua destilada a 12°C durante 8 horas. La proteína biotinilada se guardó a -20°C.

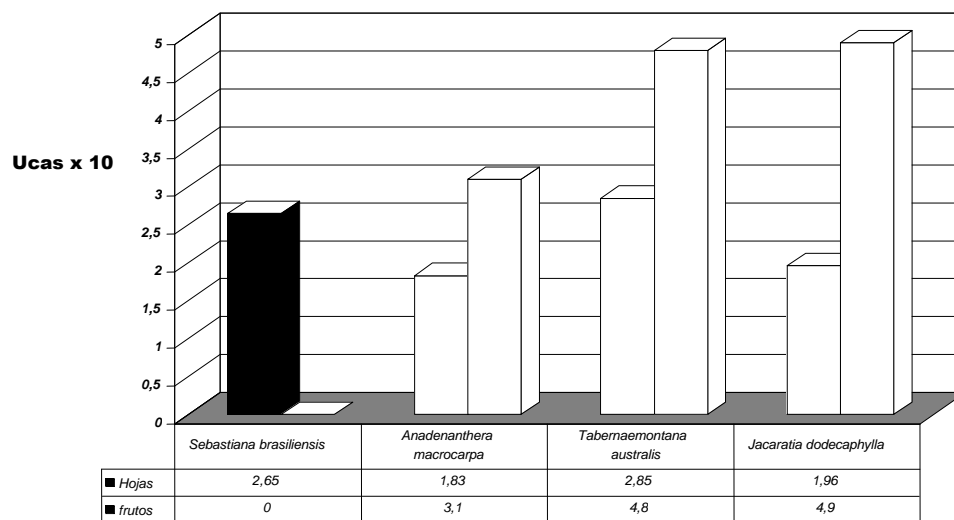
La solución stock de gelatina biotinilada se diluyó en tampón carbonato (15 mM Na₂CO₃ y 35 mM de NaHCO₃, pH 9,6) para obtener un valor de 25 ng /mL de concentración de proteína y se añadieron 50 µL a cada uno de los pocillos de una policubeta. Se dejó en contacto toda la noche a 12°C para permitir la adhesión de la proteína a las paredes y fondo de los pocillos. La proteína no adherida se lavó al día siguiente con solución salina tamponada de fosfato (PBS), los pocillos se incubaron nuevamente con 50 µL cada uno de una solución al 1% (p/v) de gelatina en PBS durante 30 minutos a 37°C, fueron lavados nuevamente con PBS y después con agua.

El ensayo proteolítico se efectuó activando las placas primeramente con 50 µL de buffer fosfato pH 6,0 durante 10 minutos a 37°C. Pasado ese tiempo se eliminó el buffer y se incubaron con 50 µL del extracto crudo de peptidasa durante 60 minutos a 37°C. Se paró la

reacción lavando cinco veces con PBS – Tween. A continuación 50 µL del conjugado de fosfatasa alcalina – estreptavidina (dilución 1:2500 en agua) fueron añadidos a cada pocillo. Después de 15 minutos de incubación a 37°C se lavo la placa varias veces con PBS – Tween, y se añadió a los pocillos 200 µL de p-nitrofenilfosfato (preparado disolviendo 1 mg/mL en clorhidrato de dietanolamina, pH 9,6 con 5 mM MgCl₂). Después de 30 minutos de incubación a 37°C se observó visualmente la placa, tomando como positivos para la presencia de peptidasas aquellos pocillos en donde no se había desarrollado color.

Resultados

Figura 1 ACTIVIDAD PROTEOLÍTICA EN TEJIDO FRESCO DE DIFERENTES ESPECIES.
Figure 1 PROTEOLYTIC ACTIVITY IN FRESH TISSUE OF DIFFERENT SPECIES



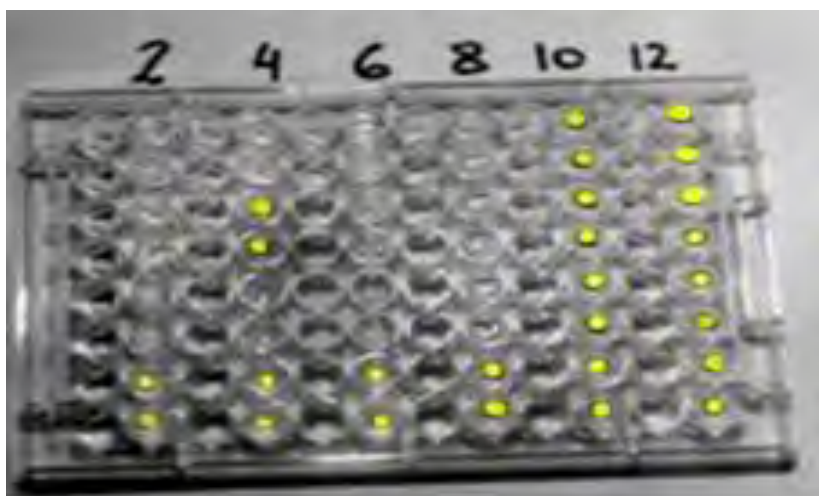
Los resultados obtenidos según la técnica de Kunitz se resumen en la figura 1. Estos resultados son las medias de cinco determinaciones.

Se observa presencia de proteinasas en hojas de *Sebastiana brasiliensis*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Tabernaemontana australis* y *Jacaratia dodecaphylla*. Los frutos de *Sebastiana* no fueron testeados. Se encontró actividad de proteinasa en frutos de *Anadenanthera*, *Tabernaemontana* y *Jacaratia*. No se encontró actividad en *Roupala cataractarum* y en *Erithroxylon deciduum*.

Los resultados obtenidos utilizando la técnica de Koritsas se consignan en la fotografía

Fotografía 1: POLICUBETA UTILIZADA CON LA TECNICA DE KORITSAS

Photograph 1: MULTIPLEWELL USED FOR KORITSAS´ TECHNIQUE



Filas 1y 2: extracto de hojas.
Filas 3 y 4: extracto de frutos.
Filas 5 y 6: extracto de corteza.
Filas 7 y 8: extracto de raíces.

Columna n°2: *Jacaratia dodecaphylla*. Positivo para la presencia de peptidasas en hojas, frutos y corteza, negativo en raíces.

Columna n°4: *Sebastiania brasiliensis*. Positivo en hojas y corteza, negativo en raíces. Los frutos no se testaron.

Columna n° 6: *Tabernaemontana australis*. Positivo en hojas, frutos y corteza, negativo en raíces.

Columna n° 8: *Anadenanthera macrocarpa*. Positivo en hojas, frutos y corteza, negativo en raíces.

Columna n° 10: *Erithroxylon decidium*. Negativo en todos los tejidos ensayados.

Columna n° 12: *Roupala cataractarum*. Negativo en todos los tejidos ensayados.

En ella se aprecia la aparición del color donde la fosfatasa alcalina presente actuó sobre el p-nitrofenol fosfato liberando el p-nitrofenol de color amarillo en los pocillos donde la preparación enzimática obtenida según Materiales y Métodos no contenía enzimas proteolíticas. La presencia de estas enzimas en la preparación habría digerido la gelatina biotinilada no permitiendo que el conjugado fosfatasa alcalina – estreptavidina se adhiriera por su mitad estreptavidina a la biotina. Sin fosfatasa alcalina presente, el p-nitrofenolfosfato no libera p-nitrofenol y no se observa la coloración amarilla.

Conclusiones

Los resultados obtenidos según la técnica de Koritsas concuerdan con los obtenidos por el método de Kunitz, en todos los tejidos ensayados. Esto valida la técnica de Koritsas para ser utilizada en una amplia prospección de la presencia de proteinasas en nuestro monte, para testear al mismo tiempo diferentes partes de un árbol. La ventaja del método radica en que las policubetas pueden prepararse anticipadamente, y con dos repeticiones por muestra, se pueden testar de 20 a 30 tejidos de plantas por día.

Agradecimientos

Este trabajo fue llevado a cabo en el laboratorio de Química de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM. Agradecemos a las Autoridades de la Casa por su apoyo.

Bibliografía

- Adler-Nissen J. (1986) Enzymic Hydrolysis of food proteins. Barking, Elsevier. Applied Science.
- Barfoed H.C. (1983) Detergents, in Industrial enzymology. Eds. Godfrey A., Reichelt J. The Nature press. 284 – 293.
- Beynon R.J., Bond J.S. Editors. (1989) Proteolytic enzymes: a practical approach. IRL PRESS, Oxford, New York, Tokyo.
- Buttle D.J. (1994) Glycyl endopeptidase. In: Methods in Enzymology, vol 244 : 539 – 555.
- Cooney D.A., Rosenbluth R.J. (1975) Enzymes as therapeutic agents, Advances in Pharmacology and Chemotherapy. 12: 185 – 289.
- Delaria K., Fiorentino L., Wallace L., Tamburini P., Brownell E., Muller D. (1994) Inhibition of cathepsin L-like cysteine proteases by cytotoxic T-lymphocyte antigen-2 β . J. Biol. Chem. 269 : 25172 – 25177.
- Delaisse J.M., Eckhout Y., Vaes G. (1984) In vivo and in vitro evidence for the involvement of cysteine proteinases in bone resorption. Biochem. Biophys. Res. Commun. 125 : 441 / 447.
- Eisner T., Niemeyer H.M. (1996) Fármacos naturales, cómo buscarlos y proteger la biodiversidad. Ciencia Hoy. Vol.6, n° 33: 33 – 38.
- Erize F. (1997) El nuevo libro del árbol. 2da Edición. El Ateneo Bs. As.
- Gacesa P., Hubble J. (1990) Tecnología de las enzimas. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Grassman W., Dyckerhoff H. (1928) Plant proteases (X). Action of yeast polypeptidase. Hope-Seyler's Z.Physiol. Chem. 179: 41 – 78
- Koritsas Vas M., Atkinson H.J. (1995) An assay for detecting nanogram levels of proteolytic enzymes. Analytical Biochemistry 227 : 22 – 26.
- Kunitz M. (1947) Crystalline soybean trypsin inhibitor . I. Methods of isolation. J. Gen. Physiol. 29: 149 – 154.
- Menon M., Vithayathril P.J., Raju S.M., Ramados C.S. (2002) Isolation and characterization of proteolytic enzymes from the latex of *Synadenium grantii* Hork "f". Plant Science 163 . 131 – 139.
- Yokotsuka T. (1985) Traditional fermented soybean foods, in Comprehensive Biotechnology. Ed. Moo-Young M. Oxford, Pergamon Press. 3: 395 – 428.

MODELACIÓN SIMULTÁNEA DE EFECTOS DE COMPETENCIA Y HETEROGENEIDAD AMBIENTAL EN UN MODELO MIXTO DE ÁRBOL INDIVIDUAL

JOINT MODELING OF COMPETITION EFFECTS AND ENVIRONMENTAL HETEROGENEITY IN AN INDIVIDUAL-TREE MIXED MODEL

Cappa, E. P.^{1,2}

¹ Ing. Agr. Dr. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Instituto de Recursos Biológicos. Hurlingham, Buenos Aires, Argentina. E-mail: ecappa@cnia.inta.gov.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Resumen

La evaluación genética forestal se realiza mediante “predicciones lineales insesgadas de mínima varianza” (BLUP) de los valores genéticos aditivos. La correlación negativa originada en la competencia entre individuos vecinos y la correlación espacial positiva causada por la heterogeneidad ambiental, pueden sesgar la estimación de los parámetros de dispersión y por consiguiente las predicciones BLUP. Este trabajo extiende un modelo mixto de árbol individual con efectos genéticos y ambientales de competencia, incorporando una estructura de los residuales autoregresiva para modelar la heterogeneidad ambiental. Un ejemplo de aplicación en *Pinus taeda* L. muestra que la competencia es importante para el carácter diámetro a la altura del pecho medidos a la edad de 13 años. El modelo mixto de árbol individual propuesto mejoró el ajuste con respecto a modelos más sencillos, como el modelo estándar que incluyó solo efectos fijos de bloques y valores de cría aleatorios, y el modelo espacial con residuales correlacionados espacialmente. Además, el modelo mixto de árbol individual que incluye efectos de competencia para cada árbol permite ampliar los objetivos y esquemas de selección.

Palabras clave: efectos genéticos y ambientales de competencia, residuales autoregresivos para filas y columnas, BLUP, REML.

Summary

Forest genetic evaluation involves to calculate “best linear unbiased predictors” (BLUP) of tree breeding values. Both the negative correlation caused by competition among individuals and the positive spatial correlation due to the environmental heterogeneity, can bias the genetic parameters and thus the tree breeding values. This paper extends an individual-tree mixed model with genetics and environmental competition effects to include an autoregressive residual structure for rows and columns. An example of application from *Pinus taeda* L. shows strong competition for the breast-height diameter trait measured at the age of 13 years. Results show that the proposed individual-tree mixed linear model includes competition effects as well as autoregressive residuals, provide a better fit than the standard model with only fixed block effects and random breeding values and the spatial model with an autoregressive residual structure. Furthermore, the individual tree model that includes direct and competition breeding values for every tree allows different selection goals and schemes.

Key words: individual-tree mixed model, genetic and environmental competition effects, autoregressive residuals for rows and columns, BLUP, REML.

Introducción

La evaluación genética forestal (EGF) se realiza mediante el análisis de observaciones provenientes de pruebas de progenies, empleando modelos lineales mixtos y “predicciones lineales insesgadas de mínima varianza” (BLUP), de los valores genéticos aditivos. Dado que las predicciones BLUP dependen del valor de la matriz de (co)varianzas del modelo asumido, la especificación de estos parámetros debe considerar la correlación negativa originada en la competencia entre individuos vecinos, y la correlación espacial positiva causada por la heterogeneidad ambiental.

La competencia entre árboles puede sesgar la varianza genética aditiva y como consecuencia sesga la separación de los valores de cría de un individuo de los de su competidor (véase por ejemplo Magnussen, 1993), generando una correlación negativa entre unidades vecinas (árbol, parcelas). La competencia entre árboles es mediada por efectos genéticos y ambientales (Magnussen, 1989). En ensayos de EGF, se suele ajustar el fenotipo por efectos ambientales de competencia (Magnussen, 1989), si bien no se consideran los efectos genéticos de competición a pesar de las evidencias sobre su existencia (véase referencias en la discusión de Magnussen, 1993 y en Foster et al., 1998). Cappa y Cantet (2008) presentaron un modelo mixto genético aditivo de árbol individual para la EGF que incluya efectos genéticos directos y de competencia más efectos ambientales permanentes de competencia, teniendo en cuenta el número y la posición de los árboles. Estos autores estimaron los parámetros de dispersión del modelo propuesto utilizando un enfoque Bayesiano por medio del muestreo de Gibbs (*Gibbs sampling*). Sin embargo, este modelo mixto de árbol individual es limitado ya que no considera la heterogeneidad ambiental.

La heterogeneidad ambiental a gran escala (o global) y/o a pequeña escala (o local) debida a factores ambientales como variaciones en la fertilidad del suelo, la humedad, la profundidad o caracteres topográficos, es bien conocida en ensayos genéticos forestales. Muchos estudios muestran que un análisis espacial genera una reducción en la varianza del error y un aumento de la heredabilidad. Esto resulta, generalmente, en una ganancia en la exactitud de los valores de cría y una mayor ganancia genética en comparación con los diseños experimentales *a priori* (por ejemplo, bloques completos aleatorizados). Varios métodos han sido desarrollados y aplicados en ensayos genéticos forestales para reducir los efectos de la heterogeneidad ambiental (por ejemplo, Costa e Silva *et al.*, 2001; Dutkowski *et al.*, 2002; Zas, 2006; Cappa y Cantet, 2007). Costa e Silva et al. (2001) y Dutkowski *et al.* (2002) recomendaron el análisis espacial de ensayos genéticos forestales ajustando un modelo de árbol individual con una estructura de los residuales autoregresiva de primer orden (AR(1)) para filas y columnas (Gilmour *et al.*, 1997). Un modelo mixto de árbol individual que ajuste simultáneamente efectos genéticos y ambientales de competencia entre árboles y la heterogeneidad ambiental es necesario. Sin embargo, estudios empíricos que modelan conjuntamente la competencia entre árboles y la variación espacial producida por factores ambientales son extremadamente escasos en el mejoramiento genético forestal (Resende *et al.*, 2005).

Este trabajo extiende el modelo mixto de árbol individual con efectos genéticos y ambientales de competencia propuesto por Cappa y Cantet (2008), incorporando una estructura de los residuales autoregresiva de primer orden para filas y columnas para modelar la heterogeneidad ambiental. Adicionalmente, este trabajo compara el modelo mixto de árbol individual propuesto con modelos más sencillos. Los desarrollos son ilustrados con datos de diámetro a la altura del pecho medidos a la edad de 13 años provenientes de un ensayo de progenies de polinización abierta de *Pinus taeda* L.

Materiales y métodos

Datos

El set de datos utilizado en este estudio pertenece al Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales (CIEF), y fueron relevados en Villa Olivari (lat. 27° 36' S long. 56° 55' W), norte de la provincia de Corrientes, Argentina. Consiste en 20 familias de polinización abierta de *Pinus taeda* L. de origen Marion (Florida, USA) y cinco lotes de semillas comerciales que fueron utilizados como poblaciones control. Se trabajó con el carácter diámetro a la altura del pecho (1,3 m, DAP) medido a la edad de 13 años, sobre 932 árboles. La variable diámetro fue seleccionada dado que esta variable en general es más afectada por la densidad de plantación y competencia entre árboles que otras variables de crecimiento tales como la altura (por ejemplo, Dutkowski *et al.* 2006). Las familias fueron dispuestas en un diseño de bloques completos aleatorizados, con ocho réplicas de 5 árboles en una parcela en línea, espaciados a 3,5 m × 3,5 m entre sí.

Modelo mixto de árbol individual con efectos de competencia y residuales correlacionados espacialmente

En notación matricial, el modelo mixto de árbol individual con efectos genéticos aditivos y ambientales de competencia y residuales correlacionados espacialmente es igual a:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}_d\mathbf{a}_d + \mathbf{Z}_c\mathbf{a}_c + \mathbf{Z}_p\mathbf{p}_c + \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\eta} \quad [1]$$

donde $\mathbf{y} = [y_{ij1..jm}]$ de orden $(n \times 1)$ contiene la observaciones de cada árbol i compitiendo con sus vecinos j_1, j_2, \dots, j_m ; \mathbf{X} de orden $(n \times p)$ es la matriz de incidencia que relaciona las observaciones con el vector de efectos fijos $\boldsymbol{\beta}$, \mathbf{p}_c es el vector de efectos ambientales permanentes de competencia tal que $\mathbf{p}_c = [p_{cj}]$ $j = 1, \dots, n$. En el vector aleatorio $\mathbf{a}_d = [a_{di}]$ se encolumnan los valores de cría directos y en $\mathbf{a}_c = [a_{ci}]$ los valores de cría de competencia. Los mismos q árboles que presentan valores de cría directos en \mathbf{a}_d se encuentran también en \mathbf{a}_c , y en el mismo orden. Valores de cría directos y de competencia se relacionan con el vector de observaciones \mathbf{y} por las matrices de incidencia de orden $(n \times q)$, \mathbf{Z}_d y \mathbf{Z}_c , respectivamente. Todas las filas de \mathbf{Z}_d tienen los elementos iguales a 0 a excepción de 1 en la columna que corresponde el a_{di} . Similarmente, los elementos de las filas de la matriz \mathbf{Z}_c son 0 con excepción de los coeficientes f_{ij} en las columnas que corresponden a los a_{cj} del competidor m_i del árbol i . Los coeficientes f_{ij} se interpretan como la *intensidad de competencia* (IC) que ejerce el a_{cj} ($j = j_1, j_2, \dots, j_m$) del j -ésimo árbol vecino sobre el fenotipo del i -ésimo árbol ($y_{ij1..jm}$). Es razonable asumir que la IC entre árboles se relaciona en forma inversa con la distancia (d) entre i y j . De este modo, la IC para los competidores fila-columna (R-C) es proporcional a $1/d$. Sin embargo, por el teorema de Pitágoras, la distancia de un árbol localizado en la diagonal (D) de i es $2^{1/2}d$, de modo que la competencia es proporcional a $1/(2^{1/2}d)$. Para obtener f_{ijR-C} y f_{ijD} se considerará que $f_{ijR-C} = 2^{1/2}f_{ijD}$ de modo que,

$$f_{ijR-C} = \sqrt{\frac{2}{2n_{R-C} + n_D}} \quad f_{ijD} = \frac{1}{\sqrt{2n_{R-C} + n_D}} \quad [2]$$

Por ejemplo, siempre que un árbol posea los 8 vecinos competidores, $n_{R-C} = n_D = 4$, ingresando estos números en las expresiones [2], produce los siguientes elementos distintos de ceros en \mathbf{Z}_c : $f_{ijR-C} = [2/(2*4 + 4)]^{1/2} = 1/\sqrt{6}$ y $f_{ijD} = 1/[2*4 + 4]^{1/2} = 1/\sqrt{12}$. Los IC fueron calculados utilizando un programa en lenguaje FORTRAN. Detalles adicionales acerca del cálculo de los IC pueden ser encontrados en el trabajo Cappa y Cantet (2008). La matriz de

covarianzas para los \mathbf{a}_d es $\mathbf{A}\sigma_{Ad}^2$, siendo \mathbf{A} la matriz de relaciones aditiva entre árboles y σ_{Ad}^2 la varianza genética aditiva para los valores de cría directos. También, $\mathbf{a}_c \sim (\mathbf{0}, \mathbf{A}\sigma_{Ac}^2)$ y $\text{cov}(\mathbf{a}_d, \mathbf{a}_c) = \mathbf{A}\sigma_{AdAc}$, siendo σ_{Ac}^2 la varianza genética aditiva para los valores de cría de competencia y σ_{AdAc} la covarianza entre los valores de cría directos y de competencia. Como describieron Costa e Silva *et al.* (2001) y Dutkowsky *et al.* (2002) para un modelo mixto de árbol individual, los vectores $\boldsymbol{\xi}$ y $\boldsymbol{\eta}$ de orden $(n \times 1)$ son los vectores de los residuales correlacionados y no correlacionados espacialmente, respectivamente. Los residuales en $\boldsymbol{\eta}$ reflejan efectos ambientales de micro-sitio, efectos genéticos no aditivos, errores de medición, *etc.* (Costa e Silva *et al.*, 2001) y se asumen independientes, es decir $\mathbf{I}\sigma_{\eta}^2$, donde σ_{η}^2 es la varianza de los residuales no correlacionados espacialmente. Asumiendo separabilidad, es decir que todos los árboles de una misma fila tienen igual estructura de covarianza para cada columna, y viceversa, Gilmour *et al.* (1997) sugirieron modelar el vector $\boldsymbol{\xi}$ como un proceso separable autoregresivo de primer orden ($\text{AR}(1) \otimes \text{AR}(1)$) para filas y columnas. Es decir, $\text{Var}(\boldsymbol{\xi}) = \left[\boldsymbol{\Sigma}_c \rho_c \otimes \boldsymbol{\Sigma}_f \rho_f \right] \sigma_{\xi}^2$, donde $\boldsymbol{\Sigma}_c$ y $\boldsymbol{\Sigma}_f$ son las matrices tipo autoregresivo de primer orden con coeficientes de autocorrelación ρ_c y ρ_f para columnas y filas, respectivamente, \otimes el producto matricial Kronecker y σ_{ξ}^2 la varianza de los residuales correlacionada espacialmente. Resumiendo, tomando en cuenta los efectos aleatorios en el modelo [1], la matriz de covarianzas (\mathbf{V}) de \mathbf{y} es representada mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{V} = \mathbf{Z}_d \mathbf{A} \mathbf{Z}_d' \sigma_{Ad}^2 + \mathbf{Z}_d \mathbf{A} \mathbf{Z}_c' + \mathbf{Z}_c \mathbf{A} \mathbf{Z}_d' \sigma_{AdAc} + \mathbf{Z}_c \mathbf{A} \mathbf{Z}_c' \sigma_{Ac}^2 + \mathbf{Z}_p \mathbf{Z}_p' \sigma_p^2 + \left[\text{AR1 } \rho_{fila} \otimes \text{AR1 } \rho_{col} \right] \sigma_{\xi}^2 + \mathbf{I} \sigma_{\eta}^2$$

Comparación de modelos

Cuatro modelos mixtos fueron ajustados a los datos. Todos los modelos incluyeron el efecto fijo de bloque y el efecto aleatorio de los valores de cría o efectos genéticos aditivos. El modelo estándar no incluyó otro efecto aleatorio (modelo estándar). El modelo espacial incluyó los residuales correlacionados y no correlacionados espacialmente (modelo espacial). El modelo de competencia más espacial incluyó además los valores de cría de competencia o efectos genéticos aditivos de competencia (modelo competencia + espacial). Por último, se incluyó el efecto de ambiente permanente de competencia (modelo competencia + amb.perm.comp. + espacial, es decir, modelo [1]).

Como describió Gilmour *et al.* (2006), se empleó el criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés “*Akaike Information Criterion*”) y la prueba del logaritmo del cociente de verosimilitudes, para comparar el ajuste de los diferentes modelos. Los parámetros de dispersión de los efectos aleatorios de todos estos modelos fueron estimados utilizando Máxima Verosimilitud Residual o Restringida (REML) con el programa ASReml (Gilmour *et al.*, 2006); el cual usa el algoritmo de segundas derivadas promedio entre la información esperada y la observada (“*Average information*”, Gilmour *et al.*, 1995).

Resultados y discusión

La variable diámetro a la altura del pecho a los 13 años de edad varió entre 13,85 cm y 42,97 cm, con un promedio de 27,21 cm (desvío estándar 4,56 cm).

El modelo mixto de árbol individual con residuales correlacionados espacialmente (modelo espacial) exhibe un mejor ajuste que el modelo estándar con bloques ajustados como efectos fijos y valores de cría o efectos genéticos aditivos como aleatorios (modelo estándar). El modelo espacial presentó un menor valor de AIC (diferencia 14,6) y la magnitud del

incremento en el logaritmo de la verosimilitud entre el modelo complejo (modelo espacial) y el simple (modelo estándar) fue estadísticamente significativa ($\mathbf{D} = 20,6; p < 0,001$) (Tabla 1). Además, el ajuste del modelo espacial revela la presencia de competencia de la variable diámetro a la altura del pecho analizada. De acuerdo al variograma muestral (Figura 1), un pico alto en la semi-varianza del “lag” 1 indica que los árboles a “lag” 1 en la misma fila tienen un efecto negativo uno con el otro. La presencia de competencia es confirmada por los coeficientes de autocorrelación negativos para filas (-0,336) y columnas (-0,100) (resultados no mostrados). Los efectos de competencia son más notorios a nivel de filas que columnas, posiblemente asociado a la ubicación de las familias en parcelas lineales de 5 árboles en la dirección de las columnas, desatacando una mayor competencia entre árboles de distintas familias. El modelo que ajustó simultáneamente los efectos genéticos aditivos de competencia y las estructuras autoregresivas de primer orden para filas y columnas (modelo competencia + espacial), resultó en una reducción importante en el valor de AIC (diferencia 23,8) y un incremento sustancial y estadísticamente significativo del logaritmo de la verosimilitud ($\mathbf{D} = 29,8; p < 0,001$), con respecto al modelo espacial (Tabla 1). Por último, la adición de los efectos de ambiente permanente de competencia al modelo que ajusta simultáneamente efectos genéticos de competencia y espaciales mejoró el ajuste, el valor de AIC se redujo (diferencia 4,6) y el logaritmo de la verosimilitud se incrementó ($\mathbf{D} = 6,6; p < 0,001$). La presencia de árboles muertos posiblemente promueva un ambiente menos estresante para los árboles vecinos, esto puede sesgar los valores de cría directos si el ambiente permanente de competencia no es tenido en cuenta (Cappa y Cantet, 2008). Adicionalmente, el modelo propuesto (modelo competencia + amb.per.comp. + espacial) permitió separar correctamente los residuales correlacionados espacialmente de los residuales ambientales de competencia (resultados no mostrados).

Tabla 1: Comparación mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés “Akaike Information Criterion”) y prueba del logaritmo del cociente de verosimilitudes de los cuatro modelos ajustados.

Table 1: Comparison by the Akaike Information Criterion (AIC) and log-likelihood ratio test of the four models fitted.

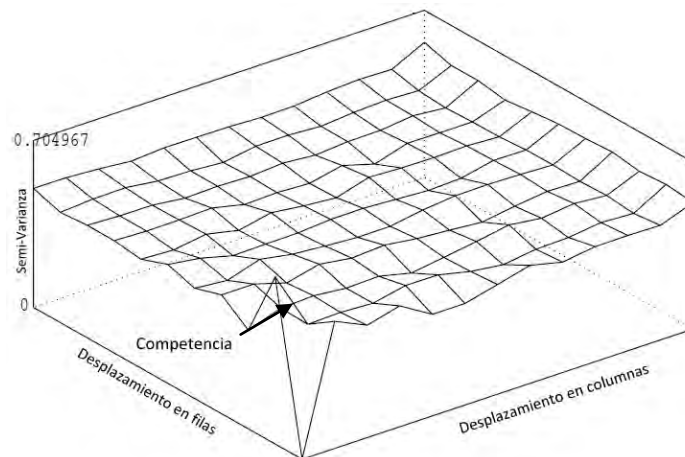
MODELO	(1) Estándar	(2) Espacial	(3) Competencia+Espacial	(4) Competencia+ Amb.Per.Comp.+Espacial
AIC ^a	3627,6	3613,0	3589,2	3584,6
LogL	-1811,8	-1801,5	-1786,6	-1783,3
\mathbf{D}^b		20,6	29,8	6,6
gl, valor p		3, $p < 0,001$	3, $p < 0,001$	1, $p < 0,001$

NOTA: ^aAIC = $-2(\text{Log}L_i + 2K_i)$, donde $\text{Log}L_i$ es el logaritmo de la verosimilitud para el modelo i ($i=1, \dots, 4$) y K_i es el número de parámetros en el modelo i . Se favorecen los modelos que tienen un AIC más pequeño.

^b $\mathbf{D} = 2(\text{Log}L_{M2} - \text{Log}L_{M1})$, donde $\text{Log}L_{M2}$ y $\text{Log}L_{M1}$ son los logaritmos de la verosimilitud para el modelo más general (M2) y el modelo restringido (M1). Es decir, modelos 2 vs 1, 3 vs 2, y 4 vs 3, respectivamente. Bajo hipótesis nula, la prueba estadística \mathbf{D} tiene una distribución asintóticamente aproximada a chi-cuadrado con grados de libertad (gl), dados por la diferencia del número de parámetros entre el modelo más general y el modelo restringido.

Figura 1: Variograma muestral indicando los efectos de competencia para el carácter diámetro a la altura del pecho en la base de datos de *Pinus taeda* L.

Figure 1: Sample variogram for the *Pinus taeda* L. data set showing the competitive effect of the diameter at breast height.



Otra ventaja que ofrece ajustar un modelo mixto de árbol individual que incluye valores de cría directos y de competencia para cada árbol, es la de permitir ampliar los objetivos y esquemas de selección, al capitalizar (o atenuar) el impacto de los efectos de competencia. Como era de esperar, dado los altos valores de varianza genética relativos a los del error, selecciones basadas en el modelo estándar y el modelo propuesto (modelo competencia + amb.per.com. + espacial) fueron similares, tanto para los progenitores como las progenies (resultados no mostrados). Sin embargo, se observan un cambio en el *ranking* tanto de progenitores como de progenies, por lo que estas diferencias tendrán un impacto directo sobre las decisiones de selección y el progreso genético.

Conclusiones

Dada la necesidad de tener en cuenta simultáneamente los efectos genéticos y ambientales de competencia y la variación espacial causada por la heterogeneidad ambiental, este trabajo presenta una extensión del modelo mixto de árbol individual con efectos genéticos y ambientales de competencia presentado por Cappa y Cantet (2008). El modelo propuesto produjo mejores resultados que los modelos más simples, como el modelo estándar (es decir, con solo efectos fijos de bloques y valores de cría aleatorios) y el modelo espacial con residuales autoregresivos para filas y columnas, en datos de diámetro a la altura del pecho de *Pinus taeda* L. a los 13 años de edad con fuertes efectos de competencia.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 00321) de Argentina, bajo el Programa de Modernización Tecnológica III, Contrato de Préstamo BID 1728/OC-AR. El autor agradece al CIEF por el aporte de los datos utilizados en el presente trabajo, y a los compañeros del grupo de trabajo del Área Bosques Cultivados de INTA Castelar por las conversaciones y discusiones generadas durante la elaboración del presente trabajo.

Bibliografía

- Cappa EP, Cantet RJC (2007) Bayesian estimation of a surface to account for a spatial trend using penalized splines in an individual-tree mixed model. *Can. J. For. Res.*, 37: 2677-2688.
- Cappa EP, and Cantet RJC (2008) Direct and competition additive effects in tree breeding: Bayesian estimation from an individual tree mixed model. *Silvae Genetica*, 57(2): 45-59.
- Costa e Silva J, Dutkowski GW, Gilmour AR (2001). Analysis of early tree height in forest genetic trials is enhanced by including a spatially correlated residual. *Can. J. For. Res.* 31: 1887-1893.
- Dutkowski GW, Costa e Silva J, Gilmour AR, and Lopez GA (2002) Spatial analysis methods for forest genetic trials. *Can. J. For. Res.* 32: 2201–2214.
- Dutkowski GW, Costa e Silva J, Gilmour AR, Wellendorf H, and Aguiar A (2006) Spatial analysis enhances modeling of a wide variety of traits in forest genetic trials. *Can. J. For. Res.* 36: 1851-1870.
- Foster GS, Rousseau RJ, and Nance WL (1998) Eastern cottonwood clonal mixing study: intergenotypic competition effects. *Forest Ecology and Management*, 112: 9-22.
- Gilmour AR, Cullis BR, and Verbyla AP (1997) Accounting for Natural and Extraneous Variation in the Analysis of Field Experiments. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2: 269-293.
- Gilmour AR, Gogel BJ, Cullis BR, Thompson R (2006) ASReml User Guide Release 2.0 VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK. p 267.
- Magnussen S (1989) Effects and adjustments of competition bias in progeny trials with single-tree plots. *For. Sci.* 35: 532-547.
- Magnussen S (1993) Bias in genetic variance estimates due to spatial autocorrelation. *Theor. Appl. Genet.* 86: 349-355.
- Resende MDV, Stringer J, Cullis B, and Thompson R (2005) Joint modelling of competition and spatial variability in forest field trials. *Rev. Mat. Estat.* 23(2): 7-22.
- Zas R. (2006) Iterative kriging for removing spatial autocorrelation in analysis of forest genetic trials. *Tree Genetics and Genomes*, 2: 177-185.

**AVALIAÇÃO DA TAXA DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE
Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan SUBMETIDAS À DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE AIB.**

**EVALUATION OF RATE OF ROOTING MINICUTTING *Parapiptadenia rigida*
(Benth.) Brenan SUBMITTED TO DIFFERENT CONCENTRATIONS OF AIB.**

Conte, B.¹; Leonarczyki, D. P.¹; Lyrio, M. P.¹; Marco, R.¹; Passaia, D. B.¹; Zanatta P.¹

1. Acadêmicos do Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, CEP: 98400-000, Frederico Westphalen-RS, dani.elabp@hotmail.com

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a taxa de enraizamento de miniestacas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan submetidas a diferentes concentrações de AIB. O material genético utilizado proveniente de um minijardim clonal de 2 anos de idade, foi submetido à diferentes concentrações de AIB não-alcóólico (0, 500, 1000 e 1500 mg L⁻¹). Para cada tratamento, utilizou-se 24 miniestacas de 10 a 15 cm, contendo 2 gemas para possível brotação e o seccionamento de pares dos folíolos, já a parte basal permaneceu 15 segundos na concentração da auxina para finalmente efetuar o plantio em tubetes para análise. Como resultado foi encontrado 0% de sobrevivência, ou seja, não houve sobrevivência do material. Este acontecimento pode ser explicado por dois fatores: as condições ambientais, como, época do ano, temperatura, luminosidade e umidade do ambiente no local, além do substrato; e fatores endógenos às plantas: a genética, e estágios de crescimento dos brotos.

Palavras – chave: Minijardim clonal; Material genético; Sobrevivência.

Summary

The aim of this study was to evaluate the rate of rooting cuttings of *P. rigida* (Benth.) Brenan subjected to different concentrations of IBA. The genetic material from a clonal minihedges 2 years of age, was subjected to different concentrations of non-alcoholic IBA (0, 500, 1000 and 1500 mg L⁻¹). For each treatment, we used 24 cuttings 10 to 15 cm, containing two buds to sprout and possible isolation of pairs of leaflets, the basal part has remained 15/2 in the concentration of auxin to finally make the planting tubes for analysis. As a result it was found 0% survival, ie, no survival of the material. This increase may be explained by two factors: environmental conditions, such as season, temperature, light and humidity in place, besides the substrate, and endogenous ace plants: genetics, and growth stages of the shoots.

Key - words: Clonal mini garden; Genetic material; Survival.

Introdução

A espécie *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, conhecida popularmente como angico-vermelho, pertence à família Fabaceae-Mimosoideae, e é um representante exclusivo da mata latifoliada das bacias dos Rios Paraná, Uruguai e afluentes (LORENZI, 2002), sendo recomendada para a recuperação de áreas degradadas e para a restauração florestal em áreas de preservação permanente (DURIGAN e NOGUEIRA, 1990). Conforme Reitz *et al.*, (1988),

é uma árvore secundária inicial, de 20 a 35 metros de altura, de madeira muito pesada, elástica e bastante durável, o que a torna própria para construções rurais e para a carpintaria.

De acordo com Lorenzi (1992), a espécie ocorre freqüentemente nas matas abertas e menos densas e, principalmente, nas associações secundárias mais evoluídas. Esta, por sua vez, produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis, podendo ser um dos métodos de sua propagação, no entanto, (ONO *et al.*, 1992) afirma que, por meio deste método, devido à recombinação gênica, as características dos descendentes são improváveis. Já na multiplicação por propagação vegetativa, obtêm-se indivíduos com características geneticamente semelhantes às de seu progenitor.

Segundo Silva (1985), a propagação vegetativa, através de estacas, é o único método de multiplicação de plantas cujo custo de execução pode competir com o da propagação por sementes.

Dentre os tipos de propagação vegetativa desenvolvida, pode-se destacar a estaquia e a miniestaquia. Para Alfenas *et al.*, (2004), um dos obstáculos à otimização da estaquia tradicional (macroestaquia) é o baixo índice de enraizamento e, ou, a baixa qualidade do sistema radicular, além das dificuldades inerentes à uniformização de tratos culturais, irrigação, fertilização e controle de doenças. Estas limitações encontradas na macroestaquia podem ser minimizadas com o uso das miniestacas ou microestacas que desenvolvem um sistema radicular de melhor estrutura, o que pode refletir positivamente na sobrevivência, no arranque inicial e no desempenho do clone no campo.

Xavier *et al.* (2003), complementam outras vantagens em relação à macroestaquia, dentre as quais podem ser citadas a redução da área necessária para a formação do jardim miniclinal, por este localizar-se em bandejas no próprio viveiro, a redução dos custos de transporte e coleta das brotações, a maior eficiência das atividades de manejo no jardim miniclinal, quanto à irrigação, nutrição e controle de pragas e doenças, além de proporcionar maior qualidade e velocidade no enraizamento das miniestacas.

Muitas espécies que se deseja propagar, não respondem conforme o esperado, assim, se faz necessário, o uso de substâncias reguladoras de crescimento, como a auxina, que proporciona maior porcentagem, velocidade, qualidade e uniformidade de enraizamento Hartmann *et al.* (1978 apud TITON, 2001).

Dentre as auxinas mais conhecidas e utilizadas no enraizamento de estacas, têm-se o ácido indol-butírico (AIB), que possui uma ação positiva sobre o enraizamento. Esta é a principal auxina sintética de uso geral, porque não é tóxica para a maioria das plantas, mesmo em altas concentrações e é bastante efetiva para um grande número de espécies e relativamente estável, sendo pouco suscetível à ação dos sistemas de enzimas de degradação de auxinas (PIRES; BIASI, 2003).

Evidenciando a disponibilidade limitada de sementes viáveis e de alto padrão genético, algumas espécies apresentam dificuldade de propagação sexuada, assim, o uso de jardim clonal é uma ferramenta necessária para constituir a base para o desenvolvimento de protocolos de propagação vegetativa de materiais adultos selecionados (SOUZA, 2003).

O objetivo deste estudo foi avaliar a taxa de enraizamento de miniestacas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan submetidas a diferentes concentrações de AIB.

Materiais e métodos

O material genético utilizado no presente estudo foi proveniente de um minijardim clonal de *Parapiptadenia rigida*, localizado no Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul – UFSM, Frederico Westphalen. Este é revestido de prolipropileno transparente (150 micras) sob tela de sombreamento de cor preta (50%). No seu interior,

constitui canteiros suspensos, na forma de tanques em estrutura de fibra de vidro, com dimensões de 5 metros de comprimento, 0,7 metros de largura e 0,5 metros de profundidade, preenchidos com seixos rolados e com 25 cm de areia, possuindo um sistema de irrigação composto de 4 linhas de mangueiras, que promovem o gotejamento (**Figura 1**).



Figura 1: Sistema de irrigação do tanque com as minicepas de *Parapiptadenia rigida*.
Fonte: Bruno Conte.

Figure 1: Irrigation system with tank ministumps *P. rigida*. Source: Bruno Conte.

As minicepas de angico-vermelho foram produzidas em tubetes, a partir da germinação de sementes coletadas de árvores matrizes selecionadas na região. As plantas, com seis meses de idade e 15 cm de altura, foram plantadas no minijardim clonal com densidade de 38,6 plantas/m². Atualmente, com 2 anos, as minicepas possuem cerca de 20 a 40 cm.

Em um período de 3 semanas, fez-se a manutenção dos tanques, ou seja, primeiramente praticou-se o rebaixamento das minicepas, para formação de partes jovens, retirada das plantas invasoras, e a adição de fertilizante NPK (10-20-10). Quando as minicepas estiveram em condições ideais para a produção das miniestacas, prepararam-se os tubetes com substrato comercial Tecnomax[®] e as concentrações de Ácido indol-3-butírico (AIB) para cada tratamento.

Os tratamentos foram formados pelas concentrações de AIB não-alcoólico (0, 500, 1000 e 1500 mg L⁻¹). Para cada tratamento, utilizou-se 24 miniestacas de 10 a 15 cm, contendo 2 gemas para possível brotação e o seccionamento de pares de folíolos provindos da parte mais jovem da minicepa (**FIGURAS 2 e 3**). Cada miniestaca produzida foi colocada em uma bacia de água para evitar a desidratação da mesma. A parte basal destas miniestacas permaneceu 15 segundos na concentração da auxina para finalmente serem plantadas em tubetes de 50 cm³, para posterior observação.



Figura 2 - Confeção da miniestaca
Fonte: Bruno Conte
Figure 2 - Creating the minicuttings.
Source: Bruno Conte.



Figura 3 – Miniestaca contendo um par de folíolos seccionados Fonte :Bruno Conte.
Figure 3 - minicuttings containing a pair of leaflets sectioned. Source: Bruno Conte.

Foram utilizadas 3 repetições, sendo que cada repetição foi representada por 8 miniestacas, totalizando 96 no experimento. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, conforme Figura 4.

T1	T3	T0	T2	T3	T1	T0	T3	T2	T0	T1	T2
R2	R3	R2	R3	R2	R1	R1	R1	R2	R3	R3	R1
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figura 4: Delineamento inteiramente casualizado no experimento de miniestaca de *Parapiptadenia rigida*.

Figure 4: Design in a completely randomized experiment minicutting *Parapiptadenia rigida*.

Após a preparação das miniestacas, estas foram colocadas para enraizar em bandeja plástica, contendo o substrato, e em seguida para casa de vegetação, onde permaneceram durante 30 dias. Após esse período, avaliou-se a sobrevivência e o índice de enraizamento das miniestacas de Angico-vermelho.

Resultados e discussões

Os valores encontrados para a sobrevivência das 96 miniestacas foram de 0%, ou seja, não houve sobrevivência do material, conforme Figura 5.

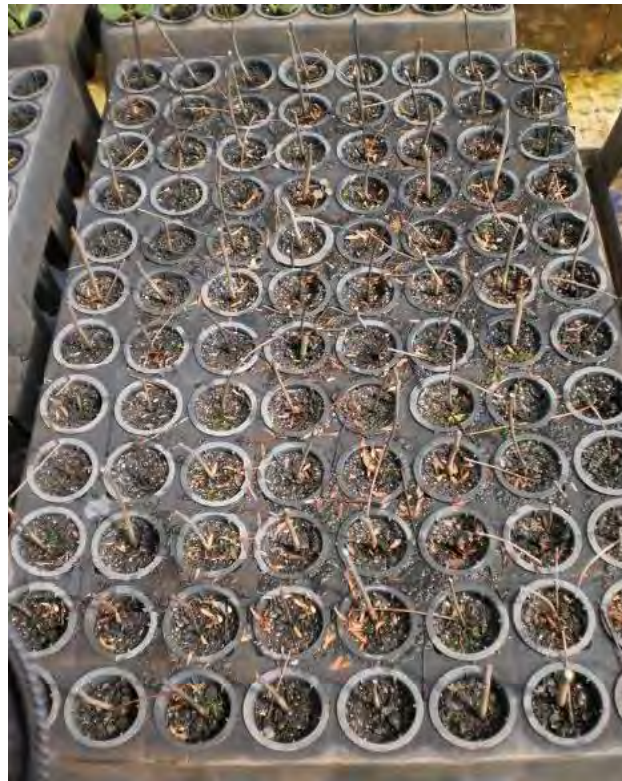


Figura 5: Miniestacas com 0% de sobrevivência.

Figure 5: Minicuttings 0% survival.

Fonte: Bruno Conte.

Source: Bruno Conte.

Este acontecimento pode ser explicado por dois fatores: as condições ambientais, como, época do ano, temperatura, luminosidade e umidade do ambiente no local onde se efetivou o experimento, além do substrato; e fatores endógenos às plantas: a genética, e estágios de crescimento dos brotos (jovem ou adulto).

Pode ser comprovado através dos resultados encontrados, que a auxina AIB não-alcoólico não desempenhou nenhum efeito sobre as miniestacas, pois as mesmas que compunham o tratamento testemunha (sem a auxina) não sobreviveram, da mesma forma que, as concentrações 500, 1000 e 1500 mg L⁻¹ utilizadas, também não representaram nenhuma alteração no índice de sobrevivência.

No entanto, Titon *et al.* (2003) observaram que a aplicação de 1.000 a 2.000 mg/L⁻¹ de AIB proporcionou os melhores índices de enraizamento e sobrevivência de miniestacas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

Segundo Schuch *et al.* (2007), para a espécie *Vaccinium ashey* Reade, a aplicação de AIB (2000mg L⁻¹) foi fundamental para o enraizamento.

Conforme Goulart (2008), doses acima de 500 mg L⁻¹ de AIB foram mais eficientes no enraizamento de clones de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, no entanto, a partir de 2.000 mg L⁻¹ de AIB, notaram-se certos níveis de toxicidade.

Dentre as condições ambientais que influenciam no enraizamento de miniestacas, a estação do ano, é um fator muito estudado, pois diante dos resultados expressa uma grande representatividade na fisiologia da planta. Carvalho (2003) afirma que, a espécie *Parapiptadenia rigida* possui floração intensa e anual que ocorre de outubro a janeiro, no Rio Grande do Sul, bem como, seus frutos secos e deiscentes amadurecem de maio a julho.

Estas afirmações possibilitam entender que, a época do ano a qual foi realizada a técnica de miniestaquia, ou seja, o início do mês de setembro, não tenha sido a época mais indicada, devido à menor atividade fotossintética, bem como, por ser um período considerado por vezes ainda frio.

Rosa (2006) observou menor produção de miniestacas no período de temperaturas mais baixas ao trabalhar com *Eucalyptus dunnii* no processo de miniestaquia.

Segundo Hartmann & Loreti (1967 apud ONO, 1996), em estacas de oliveira (*Olea europaea* L.), verificam que as mesmas enraízam bem na primavera ou verão, e muito pouco no inverno. Esse fato pode ser explicado por ser baixa a taxa fotossintética no inverno, em consequência da baixa luminosidade e de temperatura ambiente.

De acordo com Corrêa e Fett-Neto (2004 apud CUNHA *et al.*, 2009), a temperatura pode influenciar o enraizamento, atuando, sobretudo na absorção de nutrientes e no metabolismo, especialmente em regiões de clima subtropical. Logo, esse fator ambiental deve ser ajustado para uma ótima produção de miniestacas.

Cunha *et al.* (2009), salientam que o fator temperatura influencia de diferentes maneiras o enraizamento de miniestacas, sendo dependente dos clones e do tipo de minijardim clonal. Em relação à produção de miniestacas, aumento de temperatura é indicado, independentemente do tipo de minijardim.

Em relação à umidade, Xavier (2002), afirma que quando em excesso, torna-se prejudicial, por dificultar as trocas gasosas e propiciar o desenvolvimento de doenças. Ainda, a umidade relativa do ar influencia indiretamente o posterior enraizamento das miniestacas produzidas nos minijardins clonais, pois afeta a taxa fotossintética e, conseqüentemente, seus produtos, que são importantes no processo de enraizamento.

Para o substrato, Carneiro (1995); Gonçalves e Poggiani (1996), esclarecem que, ele tem efeito marcante sobre o alongamento das raízes, configuração do sistema radicular, sobrevivência das mudas e sucesso na repicagem e plantio da muda no campo.

Quanto à utilização de estacas jovens e adultas, comprova-se pela descrição de Paton *et al.* (1970 apud ONO, 1996), que estacas jovens, apresentam maior porcentagem de enraizamento que estacas adultas, talvez devido ao fato de as primeiras possuírem alta atividade meristemática e conteúdo hormonal qualitativa e quantitativamente melhor, isto é, maior quantidade de promotores de crescimento.

Todos os cuidados foram tomados durante a execução da miniestaquia, mas alguns detalhes importantes podem ter passado despercebidos, como é o caso da utilização de brotos jovens e adultos, procurava-se sempre selecionar os mais jovens, mas em algum momento podem ter sido utilizados brotos adultos. O material presente no minijardim clonal tem 2 anos de idade, sendo considerado de forma geral jovem.

De acordo com Oliveira *et al.* (2001), há uma diferença marcante na composição química da base ao ápice dos ramos e, assim, são observadas variações na formação de raízes de estacas feitas de diferentes partes dos ramos.

As melhores condições para a execução da técnica de miniestaquia que estavam ao alcance foram manejadas, mas para aceitar os resultados somente é possível indicar como os prováveis responsáveis as condições que não são de abrangência humana, como os fatores ambientais e a genética da própria espécie, ou ambos.

Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que, a sobrevivência das 96 miniestacas de *Parapiptadenia rigida* obtiveram um índice de 0%, ou seja, não ocorreu sobrevivência alguma. Esses resultados podem ser atribuídos às condições em que foi realizado o experimento de miniestaquia, ou seja, condições ambientais endógenas às plantas.

Por este motivo, não foi possível concluir as sucessivas análises referentes às miniestacas, como, percentagem de enraizamento, produção de massa seca e massa verde, dentre outras.

Diante disso, de forma geral, para as concentrações de AIB utilizadas a espécie *Parapiptadenia rigida* não desempenhou bons resultados, demonstrando que é uma espécie muito delicada em termos de propagação vegetativa por miniestaquia.

Agradecimentos

Agradecemos o empenho e dedicação de todos os autores do trabalho, bem como, o apoio e compreensão de seus familiares, amigos e professores.

Referências Bibliográficas

- ALFENAS, C. A.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. 442 p.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas – EMBRAPA – CNPF. Colombo – PR, 2003.
- CARNEIRO, J. G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995.
- CUNHA, A..M.C.M; PAIVA, H.N; LEITE,H.G; BARROS, N.F; LEITE, F.P. Relações entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestaca de eucalipto. Revista árvore. v.33. n.2. p.195-203, 2009.
- DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J.C.B. Recomposição de matas ciliares. São Paulo: Instituto Florestal, 1990.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: SBSCS, 1996.
- GOULART, P.B; XAVIER, A; CARDOSO, N.Z. Efeito dos reguladores de crescimento AIB e ANA no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. Revista árvore. Viçosa, v.32. n.6. p.1051-1058, 2008.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4ª ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v.1, 2002.
- OLIVEIRA, M.C; RIBEIRO, J.F; RIOS, M.N.S; REZENDE, M.E. Enraizamento de estacas para produção de mudas de espécies nativas de matas de galeria. Recomendação técnica. Embrapa. Brasília, p.4, 2001.
- ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; DO PINHO, S. Z.; Interações entre auxinas e ácido bórico no enraizamento de estacas caulinares de *Coffea arabica* L. CV. mundo novo. Scientia Agricola, Piracicaba-SP, 1992.
- ONO, E. O.; RODRIGUE, J. D.; Aspectos da fisiologia do enraizamento de estacas caulinares. Jaboticaba – SP. UNESP. 1996.
- PIRES, E. J. P.; BIASI, L. A. Propagação da videira. In: Pommer, C. V. *Uva: tecnologia da produção, poscolheita e mercado*. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Herbário Barbosa Rodrigues-H.B.R.; Superintendência do desenvolvimento da Região Sul-SUDESUL; Secretaria da Agricultura e Abastecimento-DRNR, 1988.
- ROSA, L. S. Adubação nitrogenada e substratos na miniestaquia de *Eucalyptus dunnii* Maiden. 2006. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SCHUCH, M. W.; ROSSI, A.; DAMIANI, C. R.; SOARES, G. C. AIB e Substrato na Produção de Mudas de mirtilo cv. “Climax” Através de Microestaquia. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, 2007.
- SILVA, I.C. Propagação vegetativa: aspectos morfofisiológicos. Itabuna, CEPLAC, 1985.
- SOUZA, L.J. Propagação vegetativa de *Eucalyptus dunnii* via Miniestaquia de Material Juvenil. Boletim de Pesquisa Florestal, n° 46, Colombo, 2003.
- TITON, M. Propagação clonal de *Eucalyptus grandis* por miniestaquia e microestaquia. 2001. 77f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- TITON, M; XAVIER, A; OTONI, W.C; REIS, G.G. Efeito do AIB no enraizamento de miniestacas e microestacas de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Revista árvore. Viçosa, v.27. n.1. p.1-7. 2003.

XAVIER, A. Silvicultura clonal I: princípios e técnicas de propagação vegetativa. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 64p. (Caderno Didático, 92).

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; WENDLING, I.; OLIVEIRA, M. L. Propagação vegetativa de cedro rosa por miniestaquia. Revista Árvore, Viçosa, v.27 2003.

EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE CLONES DESTACADOS EN UN ENSAYO COMPARATIVO DE *POPULUS* L. EN EL DELTA DEL PARANÁ

EVALUATION OF PRODUCTIVITY OF OUTSTANDING CLONES IN A COMPARATIVE TEST OF *POPULUS* L. IN THE DELTA OF PARANA

Cortizo, S.C.^{1,2} y Monteverde, M.S.^{3,4}

1. Ingeniería Agrónoma. Coordinadora del Proyecto de Mejoramiento de Salicáceas para usos de alto valor (INTA) y del Subprograma Salicáceas y otras Latifoliadas del Programa de mejoramiento de especies forestales nativas e introducidas para usos sólidos de alto valor (MinAgri). INTA, EEA Delta del Paraná.CC: 14. 2804. Campana, Buenos Aires, Argentina. scortizo@correo.inta.gov.ar
2. Cátedra de Genética. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
3. Licenciada en Genética. Programa de mejoramiento de especies forestales nativas e introducidas para usos sólidos de alto valor (PROMEF). Subprograma: Salicáceas y otras Latifoliadas. INTA, EEA Delta del Paraná.CC: 14. 2804. Campana, Buenos Aires, Argentina. smonteverde@correo.inta.gov.ar
4. Cátedra Genética y Mejoramiento Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Concepción del Uruguay, Entre Ríos.

Resumen

El desarrollo forestal sostenible necesita de un abordaje multidisciplinario que permita brindar un paquete tecnológico acorde a las necesidades y problemáticas de la región, pero sin dudas la selección de especies y de clones genéticamente mejorados tienen una importancia fundamental. El programa de Mejoramiento de Álamo del INTA basa su estrategia en la generación de variabilidad genética a través de introducciones, hibridaciones y mutagénesis, la cual es evaluada en sucesivas etapas de multiplicación. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento de cinco clones destacados de álamo („Australiano 129/60“, „Carabelas INTA“, „Stoneville 67“, „IC 562/47“ y „Ragonese 22 INTA“) instalados en un ensayo comparativo de nuestra red.

Los clones evaluados presentaron diferencias de crecimiento hasta el año 11. Todos los clones produjeron madera para aserrado en el raleo, pero solamente „Carabelas INTA“ y „Ragonese 22 INTA“ produjeron madera para debobinado. El „Stoneville 67“ presentó canchros producidos por parásitos secundarios.

Palabras clave: álamo, crecimiento, volumen, incremento medio anual.

Summary

Sustainable forest development requires a multidisciplinary approach providing a technology package according to the needs and problems of the region, but certainly the selection of species and genetically improved clones are of fundamental importance. Poplar Breeding Program of INTA bases its strategy in the generation of genetic variability through introductions, hybridizations and mutagenesis, which is evaluated using a mixture of strategies defined on the basis of biological and logistics criteria that are applied in the successive stages of propagation.

The objective of the present work is the assessment of the behavior of five outstanding clones of poplar („Australiano 129/60“, „Carabelas INTA“, „Stoneville 67“, „IC 562/47“ y „Ragonese 22 INTA“) installed in a comparative trial of our network.

The clones evaluated showed differences in growth up to the 11th year. Thinning produced logs for sawlog, but only the clones „Carabelas INTA“ and „Ragonese 22 INTA“ produced log for veneer. „Stoneville 67“ presented cankers produced by secondary parasites.

Key words: poplar, growth, volume, mean annual increment.

Introducción

Las distintas especies de álamo son las más cultivadas en las latitudes templadas de todo el mundo debido a sus características de rápido crecimiento juvenil, fácil propagación vegetativa, alto rendimiento de biomasa, buena capacidad de rebrote y alta plasticidad en respuesta a los cambios ambientales (Dillen *et al.*, 2010). La madera se destina principalmente al aserrado, debobinado, aglomerado y celulosa (Dickmann, 2001; Barros, 2006).

El Delta del Río Paraná, con una extensión aproximada de 65.000 hectáreas (SAGPyA, 1999), constituye la tercera región forestal de Argentina y la principal región forestada con álamos (*Populus*L.) y sauces (*Salix*L.) del país (SAGPyA, 2001), siendo ésta la principal actividad productiva y económica de la región (Borodowski, 2006). Las plantaciones de álamos ocupan aproximadamente 14.000 hectáreas, y están ubicadas tanto en los terrenos más altos o “albardones” como en aquellos más bajos o “bañados” protegidos de las inundaciones por un dique perimetral (SAGPyA, 1999).

El desarrollo forestal sostenible necesita de un abordaje multidisciplinario que permita brindar un paquete tecnológico acorde a las necesidades y problemáticas de la región, pero sin dudas la selección de las especies adecuadas, la liberación de clones genéticamente mejorados que respondan a los requerimientos actuales y la generación de variabilidad genética para afrontar los nuevos desafíos tienen una importancia fundamental (Cortizo, 2006; Cortizo y Mema, 2006; Cortizo, 2011).

Los programas de mejoramiento forestal están diseñados para desarrollar genotipos mejorados que permitan incrementar el valor económico y/o social de las plantaciones. Consisten en ciclos repetidos de producción de variabilidad genética y selección de individuos que respondan al modelo de árbol que producirá los mayores rendimientos tanto en cantidad como en calidad para el producto cosechado cuando sea cultivado en el ambiente para el que fue desarrollado (Dickman *et al.*, 1994). El impacto de los mismos a escala global es aumentar el rendimiento y el valor de las plantaciones con la finalidad de satisfacer la creciente demanda de productos forestales, reduciendo así la necesidad de satisfacer esta demanda con madera proveniente de los bosques nativos (White *et al.*, 2007).

Para poder iniciar el proceso, primero se deben seleccionar los mejores orígenes o procedencias geográficas (Marcó, 2011) para luego establecer un programa de cruzamientos que permita lograr las mejores combinaciones alélicas para los objetivos propuestos. De las distintas especies que crecen naturalmente alrededor del mundo *Populus deltoides* Marsh. es la de mayor importancia en todos los programas de mejoramiento de álamo, debido principalmente a la amplia diversidad genética existente en su área de distribución natural (Steenackers, 2000). Esta especie además se desarrolla en un área con condiciones ecológicas similares a las del Delta del Paraná, lo cual garantiza una buena adaptación a nuestro medio (Cortizo y Monteverde, 2011). Con la finalidad de contar con poblaciones base para la selección de nuevos materiales que permitan ampliar la oferta clonal actual, el programa de Mejoramiento Genético de Álamo del INTA, con sede en la E.E.A. Delta del Paraná, introdujo semillas de *P. deltoides* recolectadas sobre árboles plus del Delta del Mississippi (Sancho *et al.*, 1975) y clones seleccionados en Australia, Italia, Francia y Estados Unidos. Asimismo, inició un programa de hibridaciones entre los genotipos mejor adaptados, y recientemente, ha incorporado nuevas variantes alélicas mediante mutagénesis. La selección de los mejores genotipos se ve favorecida por la relativa facilidad y precisión de los métodos de evaluación de clones y la factibilidad de propagación vegetativa, que permite la maximización de los beneficios en el corto plazo (Cortizo, 2011). Dada la gran cantidad de

criterios a tener en cuenta a la hora de seleccionar, nuestro programa utiliza una mezcla de estrategias definidas en base a criterios biológicos y logísticos que son aplicadas en las sucesivas etapas de multiplicación vegetativa. Así por ejemplo, es posible seleccionar adecuadamente individuos tolerantes a enfermedades en etapas tempranas, retrasando la selección por crecimiento, forma y características de la madera (Cortizo, 2006). Los criterios de selección utilizados se basan en el concepto de calidad integral del árbol e incluyen no solamente variables de crecimiento, forma, tolerancia a plagas, enfermedades y condiciones desfavorables del ambiente sino también de calidad industrial.

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación del comportamiento de cinco clones destacados de álamo instalados en un ensayo comparativo de nuestra red.

Materiales y Métodos

En agosto de 1997 se implantó un ensayo comparativo de quince clones de *P. deltoides* y uno del híbrido *P. x canadensis*, en un terreno endicado del establecimiento "Don Pedro", propiedad de la familia Cosentino, ubicado en la segunda sección de islas del Delta del Río Paraná (Lat.: 34° 02' S, Long.: 58° 12' O). Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con cinco repeticiones de nueve plantas por parcela, distanciadas a cuatro por cuatro metros. La plantación se realizó con estacas de 90 centímetros de largo y sección homogénea, previo aplastado de la vegetación natural existente.

En este trabajo se presentan los resultados de los cinco mejores clones del ensayo de los cuales cuatro corresponden a la especie *P. deltoides* Marsh. („Australiano 129/60“, „Stoneville 67“, „Carabelas INTA“ (ex 239/68) e „IC 562/47“ (conocido por los productores locales como „R9“); y un híbrido interespecífico de *P. x canadensis* Moench. „Ragonese 22 INTA“ (ex IC 568/1). Los tres primeros fueron obtenidos a partir de semillas provenientes de árboles plus de la región del Delta del Mississippi, Estados Unidos, y seleccionados dentro del marco de los programas de mejoramiento de Australia, Estados Unidos e INTA Delta de Argentina, respectivamente; y los dos últimos obtenidos en el INTA Castelar de Argentina por cruzamientos controlados entre *P. deltoides*, „Australiano 129-60“ y *P. deltoides*, „Stoneville 107“; y entre *P. deltoides*, „Australiano 129-60“ y *P. nigra*, „*italica*“, respectivamente.

Las fallas fueron repuestas con guías durante el invierno del primer año. Para el mantenimiento del ensayo se realizaron periódicamente controles de malezas hasta el 4^{to} año con rolo y luego mediante el establecimiento de un sistema silvopastoril y podas de conducción hasta los 6 metros.

Las evaluaciones de altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP) se realizaron anualmente a partir del primer y segundo año respectivamente, durante el reposo invernal. Con los datos recopilados a partir del cuarto año el incremento medio anual (IMA) y se estimó el volumen por árbol utilizando la ecuación de volumen definida por Fernández Tschiederet al. (2011) en base a plantaciones localizadas en campos protegidos contra las inundaciones por diques perimetrales de la región Islas del Río Carabelas, lugar en donde está instalado el presente ensayo. Al octavo año se realizó un raleo que completó el 30 % de las plantas por clon. Las comparaciones de medias presentadas se realizaron con el test de Tukey y en todos los casos se comprobó el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad.

En forma cualitativa se evaluaron características de interés como rectitud de fuste, tipo e inserción de rama y tolerancia a enfermedades, principalmente roya (*Melampsora medusae*) y cancrisis (*Septoria musiva*).

Resultados y Discusión

Al cuarto año no se presentaban fallas en el clon Ragonese 22 INTA, mientras que para el resto de los clones las fallas estuvieron por debajo del 10 %, que es el límite normalmente aceptado para esta variable en el proceso de selección (**Gráfico 1**).

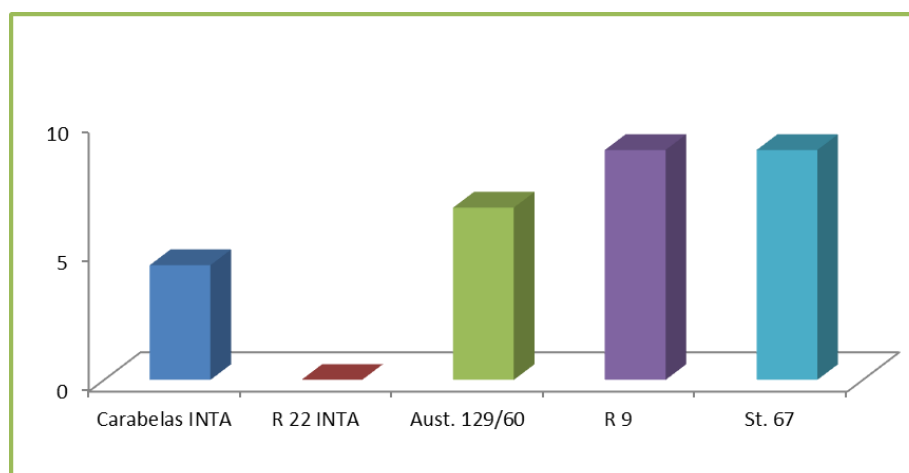


Gráfico 1: Porcentaje de fallas de establecimiento.

Figure 1: Percentage failure of establishment.

Las diferencias de crecimiento en diámetro comenzaron a manifestarse a partir de los tres años de edad. Dentro del rango de edades presentado en este trabajo, se observan diferencias en diámetro desde el cuarto hasta el undécimo año, a partir de allí las diferencias de circunferencia no resultan significativas (**Tabla 1**). Merece destacarse el cambio en diámetro experimentado por el clon “R9” a través de los años estudiados. Este tuvo un arranque más lento que el resto de los clones pero luego presentó altos valores de crecimiento, especialmente entre el cuarto y el séptimo año, lo cual le permitió alcanzar a los clones de mejor comportamiento hasta ese momento.

Tabla 1: Diferencias de crecimiento en diámetro para los 5 clones analizados agrupadas por categorías de homogeneidad desde el cuarto al décimo cuarto año.

Table 1: Differences in diameter growth for the 5 clones analyzed, grouped by category of homogeneity from the fourth to the fourteenth year.

Grupos homogéneos			
(Clones del mismo grupo no presentan diferencias significativas $p < 0,05$)			
Edad (años)	a	B	c
4	Carabelas INTA, R 22 INTA	Aust. 129/60, R 22 INTA	Aust. 129/60, St. 67 y R9
5-6	Carabelas INTA, R 22 INTA	Aust. 129/60, R 22 INTA, R9	Aust. 129/60, St. 67 y R9
7-8	Aust. 129/60, Carabelas INTA, R9, R 22 INTA	Aust. 129/60, R 22 INTA, R9, St. 67	
9-10-11	Aust. 129/60, Carabelas INTA, R9, R 22 INTA	Aust. 129/60, Carabelas INTA, R.22 INTA, St. 67	
12-13-14	Aust. 129/60, Carabelas INTA, R9, R 22 INTA, St. 67		

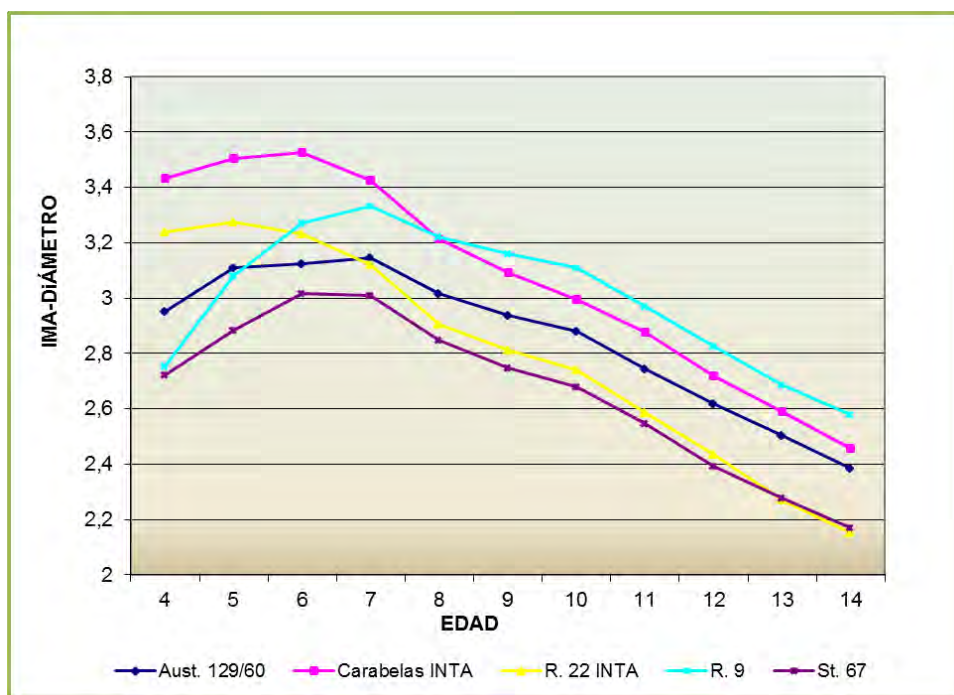


Gráfico 2: Incremento medio anual para diámetro dentro del período analizado.
Figure 2: Mean annual increment for diameter within the analyzed period.

Para la variable altura no se observan diferencias significativas.

El raleo realizado al octavo año produjo un volumen de madera diferente para cada uno de los clones (**Gráfico 3**), la cual pudo ser clasificada en las siguientes categorías de tipificación de acuerdo con las condiciones tradicionales del mercado (**Tabla 2**):

- madera para triturado: rollos de hasta 7,5 cm de diámetro como mínimo en punta fina.
- madera para aserrado: rollos de hasta 15 cm de diámetro como mínimo en punta fina.
- madera para debobinado: rollos de hasta 22 cm de diámetro como mínimo en punta fina.

Tabla 2: Porcentaje de trozas raleadas clasificadas de acuerdo a los estándares del mercado.

Table 2: Percentage of thinned logs classified according to market standards.

Clon	debobinado (%)	aserrado (%)	triturado (%)
Carabelas INTA	21,25	56,77	21,98
R 22 INTA	11,72	61,71	26,58
St. 67	0,00	69,49	30,51
R 9	0,00	61,24	38,76
Aust. 129/60	0,00	58,27	41,73

Si bien todos los clones reaccionaron al raleo, aquellos clones que produjeron trozas de mayores diámetros, y que por lo tanto provenían de árboles de mayores diámetros, reaccionaron en menor medida. Este comportamiento redujo las diferencias de crecimiento en volumen producido hasta el momento, las cuales no presentan diferencias significativas ($p=0,8$)(**Gráfico 3**).

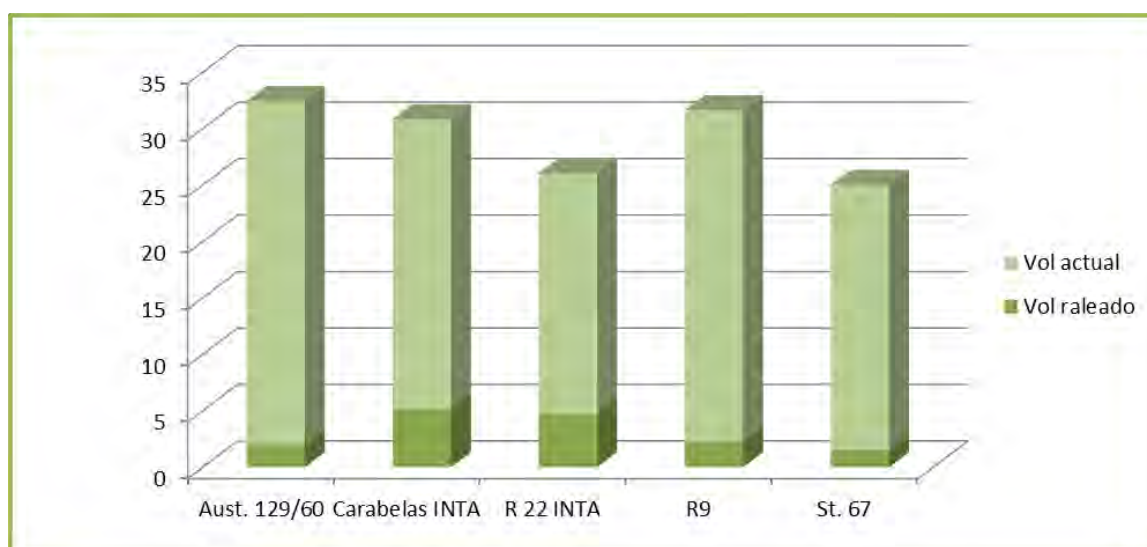


Gráfico 3: Volumen total de madera por clon, clasificado en volumen raleado y volumen actual.

Figure 3: Total volume of wood per clone, ranked by volume and current volume thinned.

En cuanto al comportamiento frente a enfermedades, los clones „Carabelas INTA“, „Australiano 129/60“ y “R9” presentaron bajos niveles de roya. Sin embargo, resulta importante mencionar que en el año 2010 se observó en el Australiano un importante ataque de roya en la segunda mitad de enero (37 pústulas/cm²) y principios de febrero (60 pústulas/cm²), que sumado al efecto de sequía provocó severas defoliaciones, algo similar ocurrió durante el 2011. Asimismo, se observó en el clon „Stoneville 67“ lesiones (Imagen 1) que inicialmente presentan exudados que salen de roturas longitudinales de la corteza y tejidos degradados, con podredumbre, mal olor y presencia de larvas de moscas.



Imagen 1: Lesiones secundarias en ‘St. 67’.

Image 1: Secondary lesions in ‘St. 67’.

Estas lesiones evolucionan hacia una herida con exposición del cámbium y poco tejido cicatrizal en los márgenes (Lucero, comunicación personal). Este tipo de sintomatología parece ser provocada por algunos patógenos secundarios que aprovechan el debilitamiento de los individuos ocasionado por algún otro factor como por ejemplo las lesiones por el taladro grande de los forestales (*Megaplatipus mutatus*).

Conclusiones

Las variables analizadas en este ensayo constituyen los criterios de selección más ampliamente usados a nivel mundial en programas de mejoramiento (Riemenschneider, 2001). Los resultados encontrados para el volumen total, las características sanitarias y el uso de la madera permiten considerar que los clones „Carabelas INTA“ y “R9” podrían utilizarse para ampliar la oferta clonal actual de las plantaciones del Delta del Paraná, reduciendo así los riesgos de las plantaciones monoclonales lo que favorecería la sustentabilidad de las mismas.

Los incrementos medios anuales en altura y diámetro son utilizados frecuentemente para analizar crecimiento y detectar etapas críticas de competencia (Bodorowski *et al.*, 2005). Los incrementos medios anuales para diámetro muestran una separación de los clones evaluados en un grupo de mejor crecimiento formado por los clones „Australiano 129/60“, „Carabelas INTA“ y “R9”, y otro con un rendimiento algo inferior, constituido por los clones „Ragonese 22 INTA“ y „Stoneville67“. Es destacable el incremento del diámetro del clon “R9” que supo aprovechar el espacio dejado por las fallas de implantación de modo tal que partiendo del menor valor pasa a tener el mayor diámetro a partir del 8^{vo} año.

Es importante llamar la atención sobre los síntomas de canchosis presentados por el clon „Stoneville 67“, que si bien no parecen ser provocados por un parásito primario, señalan una mayor predisposición de clon a sufrir a situaciones de estrés.

En cuanto al destino del producto del raleo, todos los clones fueron aptos para la industria del aserrado y del triturado, pero solo los clones „Carabelas INTA“ y „Ragonese 22 INTA“ produjeron madera para debobinado que es el destino de mayor valor económico.

Agradecimientos

Al Sr. José Luis Cosentino y familia por permitir la realización de este ensayo y por el esmerado cuidado del mismo.

Bibliografía

- Barros, J. 2006. Situación actual del sector forestal en la región del Delta del Paraná, República Argentina. Jornadas de Salicáceas 2006. Buenos Aires: 378-383 pp.
- Borodowski, E.; Cortizo, S.; Suárez, R. y Mema, V. 2005. Crecimiento de cinco clones de álamo en el Delta del Paraná. II. Ajuste de curvas de crecimiento. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. AFOA. Corrientes, Corrientes. Actas en CD. ISSN 1669-6786.
- Borodowski, E. 2006. Álamos y sauces en el Delta del Paraná: Situación del sector y silvicultura. 61-70 pp.
- Cortizo, S. 2006. Mejoramiento genético del álamo. Actas Jornadas de Salicáceas. AFOA-FAUBA: 102-106 pp.
- Cortizo, S. 2011. Mejoramiento genético del álamo, una ciencia en apoyo a la producción forestal sostenible. Actas Jornadas de Salicáceas. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina, Neuquén. ISSN 1850-3543. 14 pp.
- Cortizo, S. y Mema, V. 2006. Crecimiento de nuevos clones de álamo en el Delta del Paraná. Resultados de un ensayo comparativo clonal. Actas de las XXI Jornadas Forestales de Entre Ríos. E.E.A. Concordia, INTA: 6 pp.
- Cortizo, S. y Monteverde, S. 2011. Nuevos genotipos para diversificar las plantaciones del Delta del Paraná. Resultados de un ensayo comparativo clonal. Actas Jornadas de Salicáceas. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina, Neuquén. ISSN 1850-3543. 8 pp.
- Dickman, D.I.; Gold, M.A. and Flore, J.A. 1994. The ideotype concept and genetic improvement of tree crops. *Plant Breed. Rev.* 12: 163-193 pp.
- Dickmann, D.I. 2001. An overview of the genus *Populus*. Ed: Dickmann, D.I., Isebrand, J.G., Eckenwalde, J.E. and Richardson, J. Poplar culture in North America. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canadá: 1-42 pp.
- Dillen, S.Y.; Rood, S.B., and Ceulemans, R. 2010. Growth and Physiology. Ed: S. Jansson *et al.*. Genetics and Genomics of *Populus*: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 8. Springer Science: 39-63 pp.
- Fernández Tschieder, E.; Fassola, H. y García Cortes, M. 2011. Ecuación de volumen total para *Populus deltoides* de plantaciones del bajo delta del Paraná. *Ría Vol. 37 / N.º 2* : 172-179 pp.
- Marcó, M.A. 2011. El mejoramiento forestal. *Revista Producción Forestal*. Año 1. Revista N° 1: 10-12 pp. ISSN 1853-8096.
- Riemenschneider, R.E.; Stanton, B.J., Vallée, G. and P. Périnet. 2001. Poplar breeding strategies. Ed: Dickmann, D.I., Isebrand, J.G., Eckenwalde, J.E. and Richardson, J. Poplar culture in North America. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canadá: 43-76 pp.
- Sancho, R., Alonzo, A. y Fernández, A. 1975. Informe preliminar sobre nuevos clones de álamo obtenidos en el Delta del Paraná. IDIA. Suplemento Forestal N° 8. INTA: 95-101 pp.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA). 1999. Argentina: Oportunidades de inversión en bosques cultivados. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Buenos Aires. Argentina: 131-142 pp.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA). 2001. Inventario nacional de plantaciones forestales. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Buenos Aires. Argentina: 63 pp.
- Steenackers, V. 2000. Poplars and willows in the 21st century. What can research do to meet the needs of society? Proceedings of the 21st Session of the International Poplar Commission. Poplar and Willow Culture: Meeting the Needs of Society and Environment.
- White, T.L.; Adams, W.T. and Neale, D.B. 2007. Forest Genetics. CABI Publishing. ISBN 9780851990835.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ENRAIZAMIENTO Y DESARROLLO DE CLONES HÍBRIDOS DE *Eucalyptus spp.* EN SUSTRATOS CON COMPOST AVÍCOLA

EVALUATION OF ROOTING CAPABILITY AND DEVELOPMENT OF *Eucalyptus spp.* HYBRID CLONES IN POULTRY COMPOST SUSTRATE

Diez J.¹; Salleses L.²; Della Torre V.³; Riera N.³; Rizzo P.³; Crespo D.³; Pathauer P.¹

1 Instituto de Recursos Biológicos, CIRN, CNIA, INTA.

2 Plantaciones Forestales Sustentables BIRF 7520, MAGyP.

3 Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola, CICVyA, CNIA, INTA.

jdiez@cnia.inta.gov.ar

Resumen

Los híbridos de *E. grandis* y *E. camaldulensis* buscan ampliar el área de plantación en condiciones ecológicas que pueden ser limitantes para otras especies de Eucaliptos (por frío, salinidad o sequía). Una vez identificado un híbrido sobresaliente, el mismo es multiplicado utilizando propagación vegetativa. Para esta técnica, el sustrato utilizado es un material distinto al material *in situ* que permite el anclaje de las raíces, aporte de nutrientes y agua. Entre los componentes empleados para formular sustratos se encuentran los composts, elaborados con diversos materiales, entre ellos guano avícola. En este trabajo se evaluó la capacidad de enraizamiento y desarrollo de distintos clones en compost generados a partir de guano avícola.

Palabras clave: eucalipto estacas, residuos pecuarios.

Summary

Hybrids between *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus camaldulensis* aim to widen the plantation area in ecological conditions which can be limiting for other species of *Eucalyptus* (by frost, salinity or drought). Once a remarkable hybrid is identified, it is multiplied using vegetative propagation. For this technique, the substrate used is a different material to the *in situ* material that allows the anchorage of the roots and nutrients and water input. Among the components used to make substrates are composts, made from various materials, including poultry manure. This study evaluated the capability of rooting and development of different clones in compost generated from poultry manure.

Key words: *Eucalyptus*, cuttings, animal waste.

Introducción

En Argentina la producción de Eucaliptos se concentra principalmente en la Mesopotamia con 150.000 ha plantadas con *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, especie de rápido crecimiento y madera clara, pero sensible a heladas, destinada principalmente a uso sólido. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh es una especie de crecimiento más lento, de madera color oscuro y densa (Marcó, 2005; Sánchez Acosta, 2006), que tiene amplia variación genética y plasticidad para adaptarse a distintas condiciones climáticas y de suelos, inclusive aquellos con problemas de salinidad y sequía. (Eldridge *et al.*, 1994).

Los híbridos tienen la capacidad de producir combinaciones de rasgos de producción y adaptativos que genéticamente no son posibles dentro de una especie. (Griffin, 2008).

A través de un programa de cruzamientos controlados en la EEA Concordia del INTA se generaron híbridos interespecíficos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* con el objetivo de ampliar el área de plantación a aquellas zonas donde la implantación de *E. grandis* se encuentra limitada. A través de la silvicultura clonal se logra fijar el vigor híbrido de los materiales seleccionados (Marco & Harrand, 2005). Un híbrido sólo puede usarse operacionalmente si se puede clonar. En este sentido *E. grandis* y *E. camaldulensis*, tienen la ventaja de enraizar fácilmente (Griffin, 2008). Para ello es necesario ajustar una serie de variables que intervienen en la propagación vegetativa de estos materiales como humedad, temperatura, concentración de promotores del enraizamiento y sustrato, entre otros.

El sustrato es un material que colocado en un contenedor permite el anclaje del sistema radicular (Abad *et al.*, 2004). Puede estar formulado por uno o más materiales, debe poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, junto a un buen drenaje y aireación (Ansorena, 1994). En la propagación vegetativa de eucaliptos es común el uso de distintos materiales como corteza de pino compostada, turba, perlita y cáscara de arroz quemada entre otros, que puros o mezclados en distintas proporciones, son utilizados como sustratos.

Paralelamente, la intensificación de los sistemas productivos pecuarios trae como consecuencia la concentración de animales en áreas pequeñas produciendo grandes cantidades de estiércol y deyecciones. Esto ha llevado a problemas ambientales, incluyendo contaminación del agua, suelos y malos olores (Ko *et al.*, 2008). Las deyecciones de aves contienen compuestos orgánicos e inorgánicos. El valor nutritivo de estos residuos es mayor que el de otras excretas animales, ya que son especialmente ricos en proteínas y minerales (García Yaneisy *et al.*, 2008).

Algunas de las alternativas para el tratamiento de residuos avícolas ambientalmente aceptadas son la digestión anaeróbica y el compostaje (Turan, 2008; Kelleher *et al.*, 2002). En la composición del sustrato se emplean diferentes porcentajes de materiales orgánicos de diversos orígenes como residuos pecuarios, según las propiedades del compost y la especie a cultivar. Generalmente suelen tener pH alcalinos y conductividades elevadas (Bures, 1997). Por tal motivo, es conveniente realizar mezclas con materiales que favorezcan las condiciones óptimas para el desarrollo de la planta acidificando el pH.

Este trabajo tuvo por finalidad evaluar la capacidad de enraizamiento y el desarrollo de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* en distintos sustratos que incluyen en su composición residuos de actividades pecuarias.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó entre el 09/11/2011 y el 20/01/2012 en el Instituto de Recursos Biológicos, CIRN - INTA, en la localidad de Hurlingham, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Las estacas se obtuvieron a partir de rebrotes jóvenes, de 30 a 50 cm de longitud, de plantas madres de 6 genotipos (clones): GC6, GC8, GC19, GC24, 5-105 y 5-128, provenientes de un jardín clonal instalado en el IRB. Luego de la colecta de material, la base de los rebrotes fueron sumergidos en agua para reducir riesgos por deshidratación. A partir de esos rebrotes se prepararon estacas basales de 10 cm de longitud, con un entrenudo y dos hojas preferentemente opuestas (a las cuales se reduce el área foliar en un 50% para reducir evapotranspiración) y con un diámetro promedio de 2 mm. La parte distal de la estaca fue cortada en forma recta, mientras que al extremo basal se le efectuó un corte en bisel, para originar una zona de mayor contacto con el promotor de crecimiento. Una vez realizadas las

estacas se sumergieron en una solución de fungicida Captan® (2 g.L⁻¹) durante 1 minuto para luego ser tratadas en su extremo basal con ácido indol butírico (IBA), 3000 ppm dispersa en talco industrial e implantadas en tubetes individuales de 145cm³ de capacidad de sustrato. Se utilizó un diseño factorial donde se probaron 4 sustratos y 6 clones dispuestos en bloques completos al azar, 8 repeticiones y parcelas de 5 plantas en líneas. El ensayo fue ubicado dentro de un invernáculo de polietileno cristal de 100µ con un sistema automatizado de control de riego y humedad relativa. Los valores de humedad ambiental (H°) se mantuvieron cercanos al 80%. La temperatura ambiente varió entre 22°C y 30°C.

Los composts fueron obtenidos en la Planta de Transformación de Residuos, IMyZA, INTA Castelar, a partir del residuo de aves ponedoras en galpones automatizados en producción.

El compost 1 contenía 40% de guano avícola, 20% marlo de maíz triturado, 20% de aserrín y 20% viruta, el compost 2 contenía 60% guano avícola, 20% marlo de maíz triturado y 20% de aserrín y el compost 3 contenía 60% de guano avícola, 30% de marlo de maíz entero y 10% de marlo de maíz triturado (v/v).

Los sustratos evaluados estuvieron constituidos por 40% de cada compost y 60 % de hojas de pino compostadas. El tratamiento testigo fue el usado cotidianamente para la propagación vegetativa realizada en el IRB, correspondiente a una mezcla 50:50 v/v de corteza de pino compostada y cáscara de arroz quemada.

Tabla 1. Caracterización de los sustratos.

Table 1. Substrate characterization.

Sustrato	pH	DS	CE (µS.cm ⁻¹)	DS
C1	6,55	0,09	871,33	7,09
C2	6,64	0,17	1.387,00	121,08
C3	7,03	0,06	1.956,00	48,82
T	7,05	0,02	653,27	1,12

Las estacas del ensayo se asperjaron semanalmente con una solución de fertilizante completo de absorción foliar marca COMBO (2,5cm³.L⁻¹) mezclado con Captan (2gr.L⁻¹). El fungicida fue alternado semanalmente con Carbendazim (2cm³.L⁻¹), para evitar que los hongos desarrollen resistencia.

A los 55 días de iniciado el ensayo, como forma de rustificación, se cortó el sistema de humidificación, dejando el ensayo en estas condiciones hasta su finalización (a los 73 días del comienzo), cuando se procedió a descalzar cada planta y lavar sus raíces.

A lo largo del ensayo se relevaron las siguientes variables: supervivencia, formación de callo, formación de raíces, número de raíces primarias, longitud de la raíz más larga, formación de brotes, número de brotes, número de hojas por brote, longitud de brotes, diámetro de la estaca, presencia de hojas originales de la estaca.

Luego se procedió a secar cada estaca viva, separada en 3 facciones: brotes, estaca (y hojas originales si poseía) y raíces, a 50°C en estufa hasta peso constante y se procedió a pesar por separado con una balanza de precisión (0,1 mgr).

Para el análisis de los datos se utilizó el procedimiento GLM (*General Lineal Model*) de SAS (SAS Institute Inc. 2002). En este trabajo se presentan los resultados de Peso Seco Radicular, Peso Seco de la parte aérea y sobrevivencia, entendiendo como tal a toda planta con raíz y viva. Previamente fueron chequeados los supuestos de normalidad y para que se cumplieran los mismos fueron transformadas las variables usando el logaritmo. Para la variable sobrevivencia se utilizaron las medias de las parcelas (proporción de estacas vivas de

las cinco estacas que componen cada parcela). Se consideró apropiado para el análisis debido a con que con su empleo se esperaba cumplir con el supuesto de normalidad de los datos (Cappa *et al.*, 2012). Si bien se probaron para estas medias por parcela de Supervivencia varias transformaciones (logaritmo, arco seno, logísticas, entre otras) no fue posible lograr normalidad en la distribución por lo que estos datos fueron excluidos del análisis.

Para estimar las LSmeans y testear la significancia de las diferencias para las variables Peso seco radicular (PSR) y peso seco del brote (PSB) se ajustó el siguiente modelo lineal:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_k + \varepsilon_{ijk}$$

para $i = 1 - 6$, $j = 1 - 4$, $k = 1 - 8$ donde: μ es el efecto medio global, α_i es el efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del efecto clon, β_j el efecto incremental sobre la media causado por el nivel j del efecto sustrato, $(\alpha\beta)_{ij}$ el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel i del clon y el nivel j del sustrato, δ_k es el efecto del bloque y ε_{ijk} el término de error.

Al ser las interacciones entre bloques y sustrato, y entre bloques y clones no significativas, las mismas fueron eliminadas. El nivel de significancia del análisis estadístico que se utilizó fue $\alpha = 0,01$.

Resultados y discusión

Sobrevivencia

A pesar de que los datos de supervivencia no pudieron ser analizados, se presentan en la tabla 2 los valores medios (plantas vivas y con raíz) por tratamiento.

Tabla 2. Porcentajes de Supervivencia del ensayo.

Table 2. Survival rates of the test.

Tratamientos	C1	C2	C3	T	Total general
5-105	0,55	0,30	0,60	0,75	0,55
5-128	0,30	0,35	0,43	0,55	0,41
GC 19	0,60	0,85	0,65	0,50	0,65
GC 24	0,45	0,25	0,15	0,35	0,30
GC 6	0,60	0,55	0,68	0,08	0,48
GC 8	0,88	0,53	0,88	0,25	0,63
Total general	0,56	0,47	0,56	0,41	0,50

Se observa una supervivencia media del ensayo del 50%. A nivel de sustratos se distinguen dos grupos: los sustratos 1 y 3 manifestaron valores de supervivencia del 56% mientras que el testigo arrojó 41%. En referencia a los clones estudiados, el GC19 y GC8 presentaron valores superiores al 60% de supervivencia en contraposición al GC24 donde se observó la mayor tasa de mortandad. Estos valores son superiores a los informados por Navarrete Luna *et al.* (2005) en el enraizamiento de estacas de *E. camaldulensis*, en donde el porcentaje de enraizamiento varió de un 5 a un 37%. En cambio Rodrigues Borges *et al.* (2011) obtuvieron mediante mini estacas intermedias de híbridos de *E. urophilla x E. glóbulus* un enraizamiento entre 25 y 86,1%. En enraizamiento de miniestacas de híbridos de *E. benthamii x E. dunnii* se observó para los 3 clones evaluados un enraizamiento entre el 44,4

y 67,7%, con arena como sustrato en sistema semi hidropónico (Brondani *et al.*, 2012), sistema bastante más oneroso que el utilizado en éste estudio.

Peso seco del brote

Para esta variable, la interacción entre el efecto CLON y el efecto SUSTRATO no fue significativa ($p = 0.021$; $\alpha = 0,01$) por lo que se procedió a eliminarla del modelo y analizar los efectos principales por separado. Para el efecto clon ($p < 0,0001$) hubo diferencias de rendimiento para esta variable, donde los clones GC8 y GC19 se diferenciaron del resto como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Valor medio del peso seco del brote por clon.

Table 3. Shoot dry weight mean per clone.

Clon	Peso seco brote (gr)	
GC8	0,1061	a
GC19	0,0719	a
GC6	0,0439	b
5-128	0,0314	b
5-105	0,0309	b
GC24	0,0281	b

Valores expresados a través de las medias mínimas cuadráticas (LSmeans)

A nivel de Sustratos estudiados, si bien dentro del modelo éste factor no dio un efecto significativo ($p = 0,0374$), el sustrato C3 se diferencia del testigo con mayor rendimiento como se muestra en la tabla 4

Tabla 4. Valor medio del peso seco del brote por sustrato.

Table 4. Shoot dry weight mean per substrate.

Sustratos	Peso seco brote (gr)	
C 3	0,0579	a
C 1	0,0483	ab
C 2	0,0444	ab
T	0,0352	b

Valores expresados a través de las medias mínimas cuadráticas (LSmeans)

Peso seco de raíz

Para ésta variable la interacción resultó significativa ($p = 0,006$) al igual que el efecto principal clon ($p < 0,0001$) mientras que para el efecto del sustrato no se detectaron diferencias significativas ($p = 0,0374$). El peso seco radicular medio de las estacas en el ensayo fue de 20 mg. Estos valores son similares a los informados por Gonçalves Mafia *et al.* (2005) dónde el peso seco radicular varió entre 15 y 35 mg, en una experiencia con mini estacas de clones de eucalipto.

Como se puede observar en la Tabla 5 existen múltiples interacciones entre los efectos principales de clon y sustrato.

Los tratamientos GC8 C3, GC19 T, GC19 C1, GC24 C3, GC19 C2, GC8 C1 y GC8 T fueron los mejores ranqueados y no se diferenciaron entre si, mientras que se diferenciaron significativamente de los tratamientos 5-105 C1 y 5-128 C1, que arrojaron los menores valores de peso seco radicular.

Adicionalmente se identifican otras diferencias significativas entre otros pares de tratamientos.

Al igual que para la variable peso seco de brote los clones GC8 y GC19 se muestran como los de mayor producción en peso seco radicular encontrándose posicionados en la mitad superior en todas sus combinaciones con el GC8 C3 y GC19 T diferenciándose significativamente del 50 % de los tratamientos probados como de menor rendimiento.

Evaluación de los sustratos post ensayo

Una vez concluido el ensayo, se enviaron muestras de cada sustrato al laboratorio del Grupo de Análisis de Sustratos y Calidad de agua de Riego (ASA) del Instituto de Floricultura,

CIRN INTA Castelar donde se evaluaron los parámetros que se detallan en la Tabla 6. En todos los tratamientos se incrementó el pH cuya causa podría ser la dureza del agua de riego. Es frecuente el aumento del pH de solución de suelo cuando se riega con agua de elevada dureza (Pilatti *et al.*, 1997).

Asimismo, la conductividad eléctrica disminuyó con respecto a los valores iniciales, lo que se puede explicar por las condiciones reinantes dentro del invernáculo que producen fuertes lixiviados debido a los riegos. La mayoría de estos parámetros se encuentran dentro los valores ordinarios utilizados habitualmente en viveros forestales (Valenzuela *et al.*, 2005)

Tabla 5. LSmeans para la interacción clon por sustrato. Probabilidad de aceptación o rechazo de igualdad de medias.
 Table 5. LSmeans for clone per substrate interaction. Means equality for acceptance or rejection rates.

i/j	5-105 C1	5-105 C2	5-105 C3	5-105 T	5-128 C1	5-128 C2	5-128 C3	5-128 T	GC19 C1	GC19 C2	GC19 C3	GC19 T	GC24 C1	GC24 C2	GC24 C3	GC24 T	GC6 C1	GC6 C2	GC6 C3	GC6 T	GC8 C1	GC8 C2	GC8 C3	GC8 T
5-105 C1		0,0451	0,2964	0,0008*	0,3062	0,1079	0,1674	0,0835	<,0001*	<,0001*	0,0025*	<,0001*	0,512	0,5497	0,0013*	0,0341	0,0872	0,0614	0,0034*	0,5401	<,0001*	0,0264	<,0001*	0,0043*
5-105 C2	0,0451		0,2232	0,608	0,0071*	0,5857	0,4111	0,5705	0,0657	0,0606	0,7637	0,0753	0,164	0,2055	0,1772	0,3432	0,4734	0,5819	0,8343	0,5095	0,1638	0,8019	0,0216	0,4651
5-105 C3	0,2364	0,2232		0,019	0,0502	0,4778	0,6356	0,4416	<,0001*	<,0001*	0,0423	0,0003*	0,7542	0,7968	0,0104	0,2082	0,5033	0,3838	0,0535	0,3337	0,0003*	0,2172	<,0001*	0,0363
5-105 T	0,0006*	0,608	0,019		<,0001*	0,197	0,0948	0,1613	0,0627	0,0479	0,7703	0,0851	0,0142	0,0355	0,2606	0,5157	0,0839	0,1518	0,6636	0,2344	0,2131	0,309	0,0032*	0,7013
5-128 C1	0,3062	0,0071*	0,0502	<,0001*		0,0165	0,0312	0,0104	<,0001*	<,0001*	0,0002*	<,0001*	0,1142	0,1433	0,0002*	0,0044*	0,01	0,0068*	0,0003*	0,2353	<,0001*	0,0027*	<,0001*	0,0005*
5-128 C2	0,1079	0,5857	0,4778	0,197	0,0165		0,7653	0,3961	0,0057*	0,0039*	0,3002	0,0033*	0,3482	0,4071	0,0572	0,6038	0,8333	0,3619	0,3486	0,7507	0,0209	0,7024	0,0007*	0,1789
5-128 C3	0,1674	0,4111	0,6356	0,0348	0,0312	0,7653		0,7461	0,0016*	0,0009*	0,1537	0,003*	0,5165	0,5735	0,0305	0,415	0,8405	0,7021	0,1912	0,8896	0,0063*	0,4715	0,0001*	0,103
5-128 T	0,0835	0,5705	0,4416	0,1613	0,0104	0,3961	0,7461		0,0028*	0,0016*	0,2613	0,0056*	0,3118	0,3792	0,0433	0,5861	0,8735	0,3631	0,3031	0,7435	0,0112	0,6843	0,0002*	0,16
GC19 C1	<,0001*	0,0657	<,0001*	0,0627	<,0001*	0,0057*	0,0016*	0,0028*		0,3423	0,0357	0,3341	<,0001*	0,0006*	0,373	0,0357	0,0007*	0,0019*	0,0242	0,0581	0,4412	0,007*	0,6045	0,3322
GC19 C2	<,0001*	0,0606	<,0001*	0,0479	<,0001*	0,0039*	0,0009*	0,0016*	0,3423		0,0252	0,88	<,0001*	0,0004*	0,3935	0,0305	0,0003*	0,0009*	0,0163	0,0574	0,4348	0,0042*	0,5031	0,3347
GC19 C3	0,0025*	0,7637	0,0423	0,7703	0,0002*	0,3002	0,1537	0,2613	0,0357	0,0252		0,0527	0,0235	0,0623	0,1975	0,6786	0,1653	0,256	0,8964	0,3613	0,1279	0,4651	0,0044*	0,5575
GC19 T	<,0001*	0,0753	0,0003*	0,0851	<,0001*	0,0033*	0,003*	0,0056*	0,3341	0,88	0,0527		0,0003*	0,0012*	0,329	0,0463	0,002*	0,0044*	0,0331	0,0601	0,4436	0,0129	0,7183	0,3323
GC24 C1	0,512	0,164	0,7542	0,0142	0,1142	0,3482	0,5165	0,3118	<,0001*	<,0001*	0,0235	0,0003*		0,3862	0,0081*	0,1464	0,3504	0,2713	0,0379	0,8031	0,0004*	0,1438	<,0001*	0,0264
GC24 C2	0,5497	0,2055	0,7968	0,0355	0,1433	0,4071	0,5735	0,3792	0,0006*	0,0004*	0,0623	0,0012*	0,3862		0,0134	0,1954	0,4247	0,3423	0,0737	0,825	0,0023*	0,2124	<,0001*	0,0436
GC24 C3	0,0013*	0,1772	0,0104	0,2606	0,0002*	0,0572	0,0305	0,0433	0,373	0,3935	0,1975	0,329	0,0081*	0,0134		0,1468	0,0327	0,0463	0,1686	0,1054	0,6681	0,0843	0,7288	0,4305
GC24 T	0,0341	0,3432	0,2082	0,5157	0,0044*	0,6038	0,415	0,5861	0,0357	0,0305	0,6786	0,0463	0,1464	0,1954	0,1468		0,4777	0,6005	0,7548	0,5238	0,1061	0,8429	0,0082*	0,336
GC6 C1	0,0872	0,4734	0,5033	0,0839	0,01	0,8333	0,8405	0,8735	0,0007*	0,0003*	0,1653	0,002*	0,3504	0,4247	0,0327	0,4777		0,8334	0,2024	0,7391	0,003*	0,5505	<,0001*	0,1106
GC6 C2	0,0614	0,5819	0,3838	0,1518	0,0068*	0,3619	0,7021	0,3631	0,0013*	0,0009*	0,256	0,0044*	0,2713	0,3423	0,0463	0,6005	0,8334		0,3054	0,722	0,0081*	0,7036	<,0001*	0,1566
GC6 C3	0,0034*	0,8343	0,0535	0,6636	0,0003*	0,3486	0,1912	0,3031	0,0242	0,0163	0,8964	0,0331	0,0379	0,0737	0,1686	0,7548	0,2024	0,3054		0,3332	0,0329	0,5337	0,0025*	0,4343
GC6 T	0,5401	0,5095	0,3337	0,2344	0,2353	0,7507	0,8896	0,7435	0,0581	0,0574	0,3613	0,0601	0,8031	0,825	0,1054	0,5238	0,7391	0,722	0,3332		0,1124	0,5836	0,0305	0,2389
GC8 C1	<,0001*	0,1638	0,0003*	0,2131	<,0001*	0,0209	0,0063*	0,0112	0,4412	0,4348	0,1279	0,4436	0,0004*	0,0023*	0,6681	0,1061	0,003*	0,0081*	0,0329	0,1124		0,0281	0,1482	0,6443
GC8 C2	0,0264	0,8019	0,2172	0,309	0,0027*	0,7024	0,4715	0,6843	0,007*	0,0042*	0,4651	0,0129	0,1438	0,2124	0,0843	0,8429	0,5505	0,7036	0,5337	0,5836	0,0281		0,0006*	0,2643
GC8 C3	<,0001*	0,0216	<,0001*	0,0032*	<,0001*	0,0007*	0,0001*	0,0002*	0,6045	0,5031	0,0044*	0,7183	<,0001*	<,0001*	0,7288	0,0082*	<,0001*	<,0001*	0,0025*	0,0305	0,1482	0,0006*		0,1641
GC8 T	0,0043*	0,4651	0,0363	0,7013	0,0005*	0,1783	0,103	0,16	0,3322	0,3347	0,5575	0,3323	0,0264	0,0436	0,4305	0,396	0,1106	0,1566	0,4343	0,2389	0,6443	0,2643	0,1641	

La * indica diferencias significativas $\alpha = 0,01$.

Tabla6. Caracterización de los sustratos post ensayo.
Table 6. Post trial substrate characterization.

Variables	Unidades	C1		C2		C3		Testigo	
		Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD
pH		8,2	0,08	7,97	0,06	8,13	0,14	8,4	0,01
CE	$\mu\text{S. cm}^{-1}$	548,67	108,01	482	124,29	512	157,73	474,67	49,08
Humedad	%	63,29	0,9	62,09	1,01	61,67	1,06	68,56	1,86
Materia seca	%	36,71	0,9	37,91	1,01	38,33	1,06	31,44	1,86
Materia orgánica	%	31,3	0,3	31,2	0,85	32,6	0,95	66,95	2,43
Cenizas	%	68,7	0,3	68,8	0,85	67,4	0,95	33,05	2,43
COT	%	15,65	0,15	15,6	0,42	16,3	0,47	33,47	1,22
N total	%	0,92	0,01	0,99	-	1,04	0,01	0,53	0

Conclusiones

La macropropagación de híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, puede realizarse en sustratos alternativos como los utilizados en este estudio, formulados a partir de guano aviar.

Para la variable supervivencia encontramos descriptivamente una superioridad de los tres sustratos probados con respecto al testigo.

A pesar de no detectarse diferencias significativas con un nivel de significancia $\alpha = 0,01$ entre el factor sustratos a nivel de modelo para la variable “Peso seco del brote”, el sustrato 3, con mayor rendimiento, se separa del testigo de menor desempeño. No obstante se encontraron diferencias significativas entre clones, probablemente debido a un efecto genético.

Con respecto a “Peso seco radicular”, se encontró interacción de los distintos genotipos con los sustratos, evidenciando que existe un sinergismo y preferencia de los clones por determinados sustratos.

Con los parámetros finales vistos en la Tabla 6, puede sugerirse que el empleo de correctores de pH (acidificante) en la etapa de preparación del sustrato y de agua de mayor calidad, permitiría, a la raíz formada a partir de la estaca, aprovechar correctamente nutrientes que en éstas condiciones son inaccesibles debido a la alcalinidad del medio.

Bibliografía

- Abad M.; Noguera N P. & Carrion C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. Capitulo 4. 113-158. En: Urrestarazu Gavilan M.2004. Tratado de cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona. 914pp.
- Ansorena M.J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 172 pp.
- Brondani, G.E.; Wendling, I.; Brondani, A. E.; Araujo, M.A.; Lopes da Silva, A.L.; Gonçalves, A.N. 2012. Dynamics of adventitious rooting in mini-cuttings of *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*. Acta Scientiarum. Agronomy Maringá, v. 34, n. 2, p. 169-178.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ed. Agrotecnias. Madrid. 342 pp.
- Cappa E., Marcó M., Garth Nikles D., Last I. 2012. Performance of *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, their F1, F2 and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia region, Argentina, New Forest DOI 10.1007/s11056-012-9311-2, Springer, 24pp.
- Eldridge, K.G.; Davidson, J.; Harwood, C.E.; Van Wyk, G. 1994. Eucalypt Domestication and Breeding. Clarendon Press, Oxford. 288 pp.

- García Yaneisy, A.; Ortiz, E.; Lon Wo, 2008. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. International Poultry Expo 2008.
- Gonçalves Mafía, R.; Couto Alfenas, A.; Ferreira, E.M.; Galafizzi Zarpelon, T.; de Siqueira, L. 2005. Crescimento de mudas e Produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. Revista Árvore, Vicosa MG, v. 29, n.6, pp. 843-851.
- Griffin, R. 2008. Entrevista al Pro. Dr. Rod Griffin Genetista de *Eucalyptus*, Ex Director del CRC en Australia. Boletín del CIDEU 6-7 , 10-13.
- Ko J. H.; Ki Y. Kim; Hyeon T. Kim; Chi N. Kim; Umeda, M. 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in compost made from animal manure. Waste Mangement 28, 813-820.
- Kelleher, B.P.; Leahy, J.J; Henthon, A.M.; O'Dwyer, T.F.; Sutton, D.; Leahy, M.J. 2002. Advances in poultry litter disposal technology – a review. Bioresource technology 83: 27- 36.
- Marcó, M. 2005. Eucaliptos de Rápido Crecimiento Para Usos Sólidos. Revista IDIA XXI: N° 8 Julio de 2005 , 178-179.
- Marco, M., & Harrand, L. 2005. Valor Potencial De Los Eucaliptos Colorados en combinaciones Híbridas. I Jornada sobre potencialidad foresto-industrial del eucalipto en Santiago del . Santiago Del Estero.
- Navarrete Luna, M; Vargas Hernández, J. 2005. Propagación asexual de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. utilizando Radix en diferentes concentraciones. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente año/vol. XI, número 002, pp. 111-116.
- Pilatti, R.; Buyatti, M. 1997. El agua de riego bicarbonatada y su efecto sobre el cultivo de pimiento. Revista FAVE (1997) I y II, 28-34.
- Rodrigues Borges, S.; Aloisio, X.; Silva de Oliveira, L.; Amaral de Melo, L.; Rosado, A.M. 2011. Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. Revista Árvore, Vicosa MG, v. 35, n.3, pp. 425-434.
- Sánchez Acosta, M. 2006. Productos Sólidos a Partir de Madera de Eucaliptos Cultivados. Boletín del CIDEU 2 , 103-117.
- SAS Institute. 2002. SAS user's guide: statistics. Versión 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Turan, N. G. 2008. The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. Bioresource Technology. 99: 2097 – 2101.
- Valenzuela, O., Gallardo, C., Alorda, M., García, M. d., & Díaz, D. 2005. Características de los Sustratos Utilizados por los Viveros Forestales. IDIA XXI, N° 8, Julio 2005, 55-57.

GERMINAÇÃO E DESINFESTAÇÃO DE SEMENTES DE *Acacia mearnsii* De Wild. PARA CULTIVO *IN VITRO*

SEED GERMINATION AND DESINFESTATION *Acacia mearnsii* De Wild. FOR *IN VITRO*

Felippe, D.¹; Ril, F.L.¹; Mantovani, N.²

1. Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Universitário de Frederico Westphalen. E-mail: dioneia.felippe@hotmail.com; fernandaryl@yahoo.com.br

2. Engenheiro Florestal, Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a germinabilidade de um lote de sementes em gerbox e *in vitro*, e determinar uma metodologia de desinfestação de sementes de *Acacia mearnsii* De Wild. para o controle de fungos e bactérias no cultivo *in vitro*. Na germinação em gerbox foram utilizadas 8 repetições e 38 sementes por repetição. As avaliações foram realizadas a cada 5 dias, durante 20 dias. Para a desinfestação e germinação *in vitro* foram utilizados 4 tratamentos (concentrações de hipoclorito de sódio 0, 20, 30 e 40%), em 5 repetições e 7 tubos de ensaio por repetição. Aos 28 dias foi avaliada a porcentagem de desinfestação e de contaminação por fungos e bactérias. A imersão das sementes em hipoclorito de sódio na concentração de 30% durante 5 minutos foi eficiente por promover a desinfestação e a maior porcentagem de germinação das sementes (88,6%).

Palavras-chave: *Acacia mearnsii*; gerbox; cultivo *in vitro*; hipoclorito de sódio.

Summary

This study aimed to evaluate the germination of a seed lot in seedling and *in vitro*, and determine a method of disinfection of the seeds of *Acacia mearnsii* De Wild. to control fungi and bacteria *in vitro*. In seedling germination were used in eight replicates and 38 seeds per replicate. The evaluations were performed every 5 days for 20 days. For the disinfection and germination were used *in vitro* 4 treatments (sodium hypochlorite concentrations of 0, 20, 30 and 40%) in 5 replications and seven tubes per replicate. At 28 days was evaluated the percentage of disinfection and contamination by fungi and bacteria. Soaking in sodium hypochlorite at a concentration of 30% for 5 minutes was effective to promote the pest and the highest percentage of seed germination (88.6%)

Keywords: *Acacia mearnsii*; incubator, *in vitro*; sodium hypochlorite.

Introdução

A acácia negra, *Acacia mearnsii* De Wild. é uma espécie pertencente a família das leguminosas, subfamília Mimosoidae (MARCHIORI, 1997), originária da Austrália, que vem sendo cultivada em escala comercial em vários países.

No Brasil é cultivada por ser uma espécie de crescimento rápido e de múltiplos propósitos, entre eles destaca-se a restauração de ambientes degradados, fixação de nitrogênio, arborização de parques e jardins, produção de tanino extraído da casca, além de ser produtora de carvão e celulose.

Entre as espécies florestais que compõem o cenário silvicultural no país, ocupado tradicionalmente pelos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, *Acacia mearnsii* tem assumido, nos últimos anos, relevante expressão comercial ante as relações internas e externas de mercado estabelecidas pelas empresas do setor florestal (PERRANDO e CORDER, 2006).

O crescente cultivo de acácia-negra, entretanto, ainda é estabelecido a partir de mudas produzidas por sementes, resultando em florestas com alta variabilidade genética entre os indivíduos do povoamento e, conseqüentemente, variabilidade na produtividade da floresta. Com o intuito de aumentar a produtividade das florestas de *A. mearnsii*, a propagação clonal de indivíduos superiores selecionados dentro de um programa de melhoramento genético vem sendo desenvolvida através da cultura de tecidos (BECK *et al.*, 2000; VENGADESAN *et al.*, 2002).

Uma das técnicas que podem ser utilizadas é o cultivo *in vitro*, que constitui um método eficiente para a multiplicação de plantas selecionadas em larga escala e em curto espaço de tempo. No entanto, de acordo com Ferrador e Marques (2008), a micropropagação de espécies lenhosas depara-se com alguns problemas, entre eles, os das contaminações das culturas por diferentes microrganismos, com os conseqüentes prejuízos econômicos. Parte dessas contaminações resulta de falhas no sistema de desinfestação ou na manipulação do material vegetal e parte, da presença de organismos contaminantes endógenos e exógenos no material vegetal.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a germinabilidade de um lote de sementes em gerbox e *in vitro*, bem como determinar uma metodologia de desinfestação de sementes de *Acacia mearnsii* De Wild. visando a obtenção de explantes axênicos para o cultivo *in vitro*.

Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Genético Florestal do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, campus do Centro de Educação Superior Norte – RS.

Foram utilizadas, sementes de *Acacia mearnsii*, oriundas da empresa TANAC S. A., identificadas pela empresa como 362-B, 852.16-B, 852.12-G, 852.12-I, APSCAM 98 e Formigueiro.

O primeiro experimento foi o teste de germinação das sementes das 6 procedências realizado em gerbox, com papel absorvente umedecido e mantido em germinador de câmara vertical tipo B.O.D., à temperatura de 25°C.

Após procedeu-se com a quebra de dormência, através da imersão em água quente (não fervente) por 5 minutos, e imediatamente após, adicionou-se água a temperatura ambiente.

Foram utilizadas 8 repetições (1 repetição por gerbox) com 38 sementes por repetição. As avaliações da porcentagem de sementes germinadas foram realizadas a cada 5 dias, durante 20 dias.

O segundo experimento realizado, foi o teste de germinação *in vitro* e a desinfestação das sementes com as procedências 852.12-G e 852.12-I. Para a determinação da melhor procedência, foi considerada a porcentagem de germinação e a presença de plântulas normais e com capacidade de serem utilizadas para a multiplicação, ou seja, que apresentassem mais

de um par de gemas e não possuíssem raiz aérea. A cultura foi mantida em sala de crescimento sob controle de temperatura a 25°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) e fotoperíodo de 16 horas sob intensidade luminosa de aproximadamente 2000 lux, fornecida por lâmpadas fluorescentes branco-frias, permanecendo por um período inicial de sete dias, as sementes foram mantidas no escuro, nas mesmas condições de temperatura.

A seleção das sementes foi através do mesmo procedimento utilizado para o teste de germinação. Para controle da assepsia, os procedimentos foram realizados em câmara de fluxo laminar.

Posteriormente as sementes foram imersas em álcool 70% por 1 min., após em água quente (não fervente) por 5 min., visando à quebra da dormência das mesmas. Para a desinfestação foram testadas diferentes concentrações de hipoclorito de sódio (0, 20, 30 ou 40%), com pH ajustado para 6,5, durante 5 min. Após esses procedimentos, para a remoção dos resíduos dos agentes desinfestantes, as sementes foram lavadas 3 vezes com água destilada e autoclavada.

A inoculação foi realizada em tubos de ensaio, contendo cerca de 10 ml de meio MS, (MURASHIGE e SKOOG, 1962) acrescido de 30 gL⁻¹ de sacarose e 6 gL⁻¹ de ágar com pH ajustado para 6,5 antes da esterilização.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos, 5 repetições e 7 tubos por repetição, (cada tubo contendo uma semente). Aos 28 dias foi avaliada a porcentagem de desinfestação e de contaminação por fungos e bactérias.

Resultados e Discussão

No teste de germinação realizado em gerbox, aos 5 dias, a procedência que apresentou melhor porcentagem de germinação, como pode ser visualizado na figura abaixo, foi a 852.12-G, com 50,69%, seguida da 852.12-I, com 43,36%. Já aos 10, 15 e 20 dias, a procedência que se destacou foi a 852.12-I, com 90,59%, 93,25% e 93,57% respectivamente, seguida da 852.12-G, com 74,25%, 78,79% e 78,79% respectivamente.

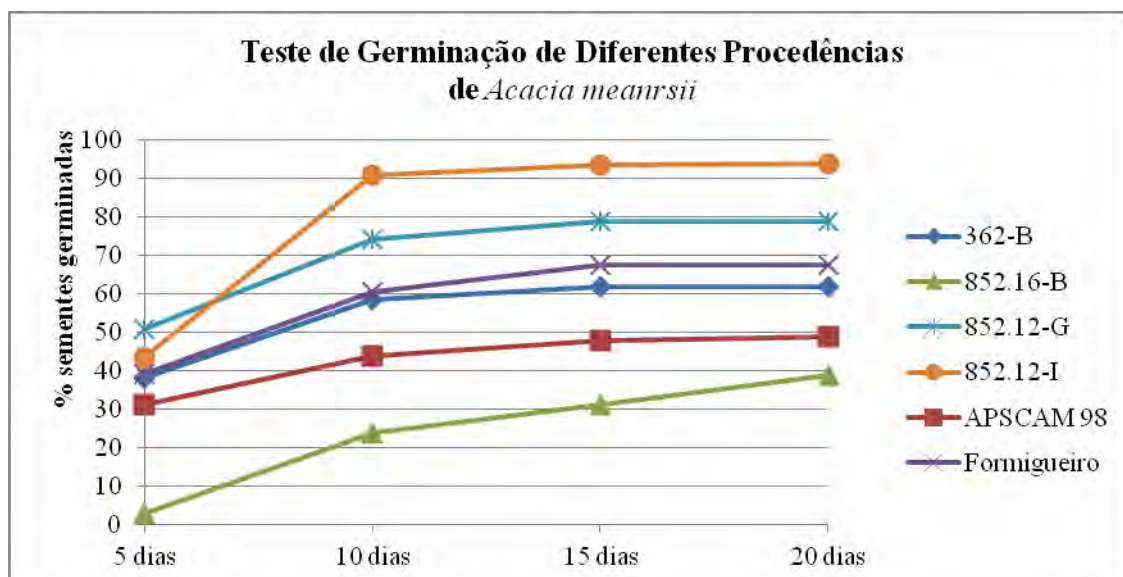


Figura 1: Porcentagem de germinação em gerbox de sementes de *Acácia mearnsii* De Wild. em função das diferentes procedências.

Figure 1: percentage off seedling germination of seeds of acacia mearnsii De Wild. according to different sources

Verifica-se uma alta porcentagem de sementes germinadas nos primeiros cinco dias de avaliação, atingindo o ápice aos dez dias. Após dez dias foi verificada germinação de apenas uma pequena parte das sementes. A alta taxa de germinação ser explicada pela imersão das sementes em água quente, resultando na quebra de dormência das mesmas.

Hartmann e Kester (1978) afirma que a exposição de sementes que apresentam dormência tegumentar a temperaturas elevadas é um meio eficiente para promover a sua germinação. A água quente é bastante utilizada e tem-se mostrado efetiva na superação de dormência das sementes de várias espécies florestais de leguminosas, como *Acacia* spp. (WILLAN, 1990).

A eficiência dos tratamentos com água quente também foi comprovada por Ribas *et al.* (1996), quando obtiveram germinação de sementes de *Mimosa bimucronata*, entre 97 e 99% ao serem submetidas a tratamentos de imersão em água quente (80 °C) por 1 e 5 minutos e imersão em água à temperatura de 80 °C, seguido de esfriamento natural das sementes por 24 horas. Também, Scheffer Basso e Vendrusculo (1997) indicaram a imersão em água quente, durante 5 minutos, como um método eficiente, fácil e barato de superação da dureza das sementes de *Adesmia araujoii* Burk.

No teste de germinação realizado *in vitro*, com as procedências 852.12-G e 852.12-I, verificou-se uma porcentagem de 88,57% e 82,86% respectivamente de sementes germinadas e de 80% e 57,14% respectivamente de plântulas normais e com capacidade de serem utilizadas na etapa de multiplicação (Figura 2). Devido a isso, a procedência que será utilizada para os próximos testes *in vitro* será a 852.12-G.

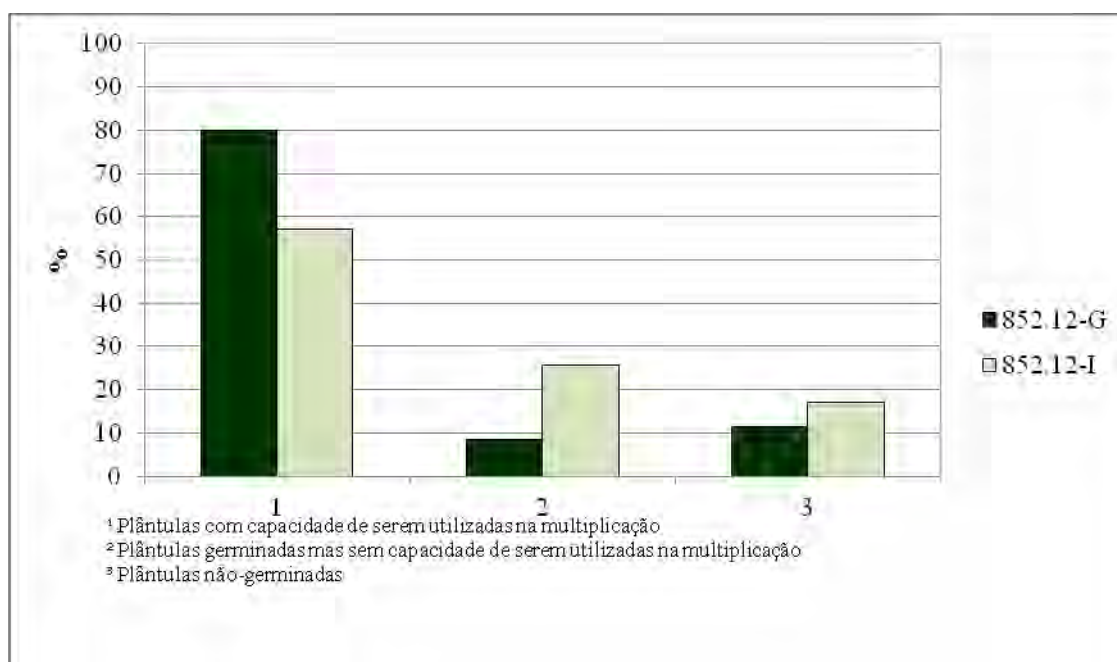


Figura 2: Porcentagem de germinação *in vitro* de sementes de *Acácia mearnsii* De Wild. em função das diferentes procedências .

Figure 2: Percentage of *in vitro* germination of seeds of *Acacia mearnsii* De Wild according to different sources.

No teste de desinfestação das sementes da procedência 852.12-G, verificou-se que os tratamentos utilizados afetaram a germinação. A maior porcentagem de germinação e obtenção de plântulas normais (88,6%) foi obtida com a utilização de hipoclorito de sódio na concentração de 30%. Já quando utilizou-se a concentração de 40%, esta ocasionou uma

brusca diminuição na germinação (65,2%). A não utilização de hipoclorito de sódio, ou a utilização da concentração 20% ocasionaram porcentagens de germinação semelhantes, 80% e 77,1% respectivamente.

Verificou-se ainda, 100% de sementes desinfestadas em todos os tratamentos testados com uso do hipoclorito e 97,14% para a testemunha. Isso pode ter ocorrido devido à imersão das sementes em álcool 70% durante 1 minuto e a água quente utilizada para a quebra de dormência das mesmas.

Resultados semelhantes ao encontrado neste trabalho foram também verificados por Corder e Borges (1999), que observaram 100% de assepsia em sementes de *Acácia mearnsii* tratadas com hipoclorito de sódio a 10% por 10 min. e álcool 70% por 40 segundos.

O resultado também concorda com ANDRADE *et al.* (2000), que desinfestaram sementes de *Myracrodruon urundeuva* em álcool 70% por 30 segundos, seguido de hipoclorito de sódio a 1% por 10 minutos e lavados 3 vezes com água destilada apresentaram nenhum tipo de contaminante.

De acordo com George (1996), deve-se considerar o período de exposição ao agente desinfestante, sendo que longos períodos podem danificar o tecido e um curto período não destrói os microrganismos. O tempo de exposição depende do material a ser desinfestado.

Conclusão

Conclui-se que o hipoclorito de sódio na concentração de 30% possibilita a maior porcentagem de sementes germinadas e a desinfestação eficiente de sementes de *Acácia mearnsii* De Wild. e com isso, a obtenção de explantes axênicos para o cultivo *in vitro* da espécie.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, M. W. LUZ, J.M.Q.; LACERDA, A.C.; DE MELO, P.R.A. 2000. Micropropagação da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* FrAll). **Ciência Agrotécnica**, v. 24, n. 1, p. 174-180.
- BECK, S. L.; DUNLOP, R.; van STADEN, J. 2000. Meristem culture of *Acácia mearnsii*. **Plant Growth Regulation**, v.32, n.1, p.49-58.
- CORDER, M. P. M. & BORGES JR., N. 1999. Desinfestação e quebra de dormência de sementes de *Acácia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 2, p. 1-7.
- FERRADOR, S. & MARQUES, G. 2008. **Contaminações Endógenas na Micropropagação de *Castanea sativa* Mill.** Disponível em: <<http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T3-12.pdf>>. Acesso em: nov. de 2008.
- GEORGE, E.F. 1996. **Plant propagation by tissue culture: in practice**. Parte 2.Exegetics limited, Reino Unido, 161p.
- HARTMANN, H. T. & KESTER, D. E., 1978. **Propagación de planta: principios y prácticas**, Continental S.A., México, 810 p.
- MARCHIORI, J. N. C. 1997. **Dendrologia das angiospermas: leguminosas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 200p.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, n.1, p. 437-496.
- PERRANDO, E. R.; CORDER, M. P. M. 2006. Rebrotas de cepas de *Acácia mearnsii* em diferentes idades, épocas do ano e alturas de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.555-562.
- RIBAS, L. L. F.; FOSSATI, L. C.; NOGUEIRA, A. C. 1996. Superação da dormência de sementes de *Mimosa bimucronata*(D.C.) O.Kuntze (maricá). **Revista Brasileira de Sementes**, v.18, n.1, p.98-101.
- SCHEFFER-BASSO, S. M.; VENDRUSCULO, M. C. 1997. Germinação de sementes das leguminosas forrageiras nativas *Adesmia araujoi* Burk. E *Desmodium incanum* D.C. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.3, n.2, p.65-68.
- VENGADESAN, G. GANAPATHI, A.; AMUTHA, S.; SELVARAJ, N. 2002 In vitro propagation of *Acácia* species - A review. **Plant Science**. v.163, n.4, p.663-671.
- WILLAN, R. L. 1990. **Seed pretreatment**. Humleaback: Danida Forest Seed Centre, 19p.

MACROPROPAGACIÓN DE *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* x *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barrett y Golfari (F1).

MACROPROPAGATION OF *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* x *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barrett and Golfari (F1).

González Paola¹, Belaber E.²; Gauchat ME³.

¹INTA, E.E.A. Montecarlo: pgonzalez@montecarlo.inta.gov.ar

²INTA, E.E.A. Montecarlo: ebelaber@montecarlo.inta.gov.ar

³INTA, E.E.A. Montecarlo: magauchat@montecarlo.inta.gov.ar

Resumen

A partir de cruzamientos controlados de Pino híbrido (*Pee x Pch*) generados por INTA, con el objetivo de lograr un mayor número de plantas madres por plantín de semilla F1 en un año, se ha desarrollado un protocolo de macropropagación. Se utilizaron familias provenientes de semillas (F1), el topping se realizó a los 3 y 5 meses de edad; se encontraban creciendo en condiciones de invernáculo, media sombra al 80% y riego controlado. Variables estudiadas: N° de brotes totales, N° de plantas sobrevivientes y N° de estacas enraizadas/familia/edades de topping. Los resultados demostraron un efecto de interacción significativo ($p \leq 0,05$) entre edades de cortes y familias para todas las variables estudiadas. Para la variable estacas enraizadas por familia, se pudo observar un mayor número de plantas enraizadas cuando el topping fue realizado a los 3 meses de edad. Concluyéndose que realizar el topping a los 3 meses de edad posibilita la obtención de una mayor cantidad de plantas madres.

Palabras clave: Pino híbrido (*Pee x Pch*), macropropagación, vivero forestal.

Summary

From hybrid pine controlled crosses (*Pee x Pch*) generated by INTA, with the aim of achieving a greater number of mother plants for seedling of seed F1 in a year, has developed a protocol macropropagation. Families were used from seeds (F1), the topping was performed at 3 and 5 months of age; were growing under greenhouse conditions, 80% partial shade and irrigation control. Variables studied: Total N° of outbreaks, N° of surviving plants and number of cuttings rooted / family / ages of topping. The results showed a significant effect interaction ($p \leq 0,05$) between the ages of topping and families for all variables. For the variable rooted cuttings per family, we observed a greater number of rooted plants when the topping was performed at 3 months old. Concluding that make the topping to 3 months of age possible to obtain a greater amount of parent plants.

Key words: Hybrid pine (*Pee x Pch*), macropropagation, tree greenhouse.

Introducción

La provincia de Misiones cuenta con aproximadamente 400.000 has. forestadas, es la de mayor producción forestal del país, contribuyendo con el 60% de la producción de rollizos. Las especies que predominan son *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, complementadas con *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var.

hondurensis (Pino híbrido), *Melia azedarach* (paraíso), *Grevillea robusta*, *Toona ciliata* y *Paulownia spp* (kiri).

En los últimos años se ha generado un especial interés a escala mundial por el “Pino híbrido” (*Pee x Pch*), producido por el cruzamiento entre *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* (*Pee*) y *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barrett y Golfari (*Pch*), el cual ha demostrado ser uno de los híbridos más prometedores en países como Australia y Sudáfrica (Malan, 1995). Éste se caracteriza por crecer en la misma proporción que *Pch* y supera por lo menos en un 35% en crecimiento al *Pee* (Malan, 1995). Otras de sus ventajas es su amplio rango de adaptación a diferentes sitios.

En la Argentina, se introdujo dicho híbrido en el año 1980, a través del Servicio Forestal de Queensland, Australia (Barrett *et al.*, 1991). En la región mesopotámica, las generaciones F1 y F2 de este híbrido han demostrado un alto potencial en crecimiento y forma de fuste respecto a las especies parentales (Nikles, 1991; Pahr *et al.*, 2002 y Bunse, 2003). Esta situación ha impulsado un creciente interés por el pino híbrido, lo cual lleva aparejado una alta demanda del mismo.

La baja disponibilidad de semillas de *Pee x Pch*, es un gran inconveniente para el sector forestal en la actualidad. Este problema tiene dos aristas, por un lado el difícil acceso a semillas F1, y por otro la dependencia de semillas F2 importada a costos superiores a los 1200 U\$S/Kg.

La EEA Montecarlo del INTA, lleva a cabo un proyecto en el marco de un convenio, el cual contempla la generación de dicho híbrido, con materiales tanto de *Pee* como *Pch* selectos y adaptados a la zona. El costo aproximado por cada semilla (F1) proveniente de dicha cruce, costaría alrededor de 2 U\$S.

Una manera eficiente de poder producir los mismos, es a través de la multiplicación de las plantas a partir de una sola semilla, utilizando técnicas como la macrorpropagación, el cual permite un aumento de su disponibilidad en un período corto de tiempo, manteniendo las características deseadas de los padres.

Por todo lo expuesto se considera de fundamental importancia, llevar a cabo la propagación del material, por técnicas de macrorpropagación; que permitan la multiplicación en un período corto de tiempo y aumento de su disponibilidad; a través del cual se generarán plantines/estacas que serán destinados a los productores y viveristas de la zona. En el caso del género *Pinus* el desarrollo y aplicación de la macrorpropagación en general son relativamente más recientes y particularmente en Argentina no tienen más de 10 años.

Las estacas o esquejes son partes o porciones de una planta donante, para originar a partir de estas, un nuevo individuo obtenido a partir de la propagación vegetativa, la cual es una nueva planta idéntica al progenitor.

El éxito de la reproducción por estacas se mide esencialmente a través del porcentaje de enraizamiento logrado, fenómeno que indica la satisfactoria reproducción de la planta, es decir, la obtención de un nuevo individuo a partir de un segmento de la planta madre.

Por otra parte, el genotipo y la edad de topping realizado a la planta madre, influyen en forma significativa en el número de brotes producidos y en el número de brotes enraizados.

Se consideró de fundamental importancia generar un protocolo de propagación del Pino híbrido generado en la zona, por técnicas de macrorpropagación que permita la regeneración de un mayor número de plantas madres por plantín de semilla F1, en un período corto de tiempo y aumento de su disponibilidad, como su transferencia posterior a viveristas.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Se utilizaron plantas de pino híbrido (*Pee x Pch*) provenientes de semillas F1, las cuales se encontraban en bandejas forestales (8 x 11 cavidades); con sustrato: corteza de pino compostada 70% + perlita 30%. Fertilizadas con: fertilizante de liberación lenta (12 meses de duración) del tipo 15-9-12 (NPK) + micronutrientes (Osmocote® Plus) y fertilizante foliar (Yogen N° 1) 100 gr/ 20 Lts de agua. Bajo condiciones de invernáculo, con media sombra al 80% y riego controlado, en la Empresa Pindó S.A., Puerto Esperanza, Misiones.

Tratamientos

Edad de corte: para la formación de las plantas madres, dadoras de estacas, se estudiaron dos edades de topping, a los 3 y a los 5 meses.

Familias: se estudiaron 24 cruzamientos de *Pee x Pch* (F1): 5x4, 5x9, 5x10, 15x11, 15x56, 16x11, 20x5, 20x7, 20x9, 20x10, 20x11, 20x53, 23x4, 23x5, 23x7, 23x9, 23x11, 23x53, 28x9, 28x10, 28x56, 34x4, 34x9 y 34x10.

Se estudiaron las siguientes variables:

N° de brotes totales por cruzamiento, en las diferentes edades de corte.

N° de plantas sobrevivientes por cruzamiento, en las diferentes edades de corte.

N° de plantas enraizadas por cruzamiento (a los 60 días) en las diferentes edades de corte.

Diseño estadístico

Teniendo en cuenta los 24 cruzamientos x 4 plantas por cruzamiento x 3 veces repetidas x 2 edades de topping (3 y 5 meses), haciendo un total 12 plantas por cruzamiento y por edad de corte.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado. La comparación de los valores de las variables entre los tratamientos, se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), posteriormente un test de Duncan, con la prueba de diferencia significativa al 5% del nivel de probabilidad. Para el análisis estadístico de los resultados de cada experimento se realizaron pruebas de distribución normal a fin de determinar la homogeneidad de varianzas. El procesamiento estadístico de los resultados se realizó con el programa InfoStat (2004) InfoStat, versión 2004. Grupo InfoStat; FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos a partir del ensayo de propagación vegetativa de pino híbrido *Pee x Pch* (F1), han demostrado que realizándose el topping a los 3 meses de edad, las estacas obtuvieron un porcentaje de enraizamiento de 89,88% y realizándose el mismo a los 5 meses de edad lograron un 89,61% de enraizamiento. Estos valores son similares a los obtenidos en Australia, para Pino híbrido, los cuales se encuentran entre 70-100% de enraizamiento y considerándose los valores altamente dependiente de clon (Trueman, 2006).

Los altos porcentajes de estacas enraizadas, pueden deberse a la juvenilidad de las plantas madres de las cuales se obtuvo; coincidiendo con Greenwood & Hutchison, 1993, quienes consideran que el enraizamiento es mayor cuando las estacas provienen de material juvenil. En la Figura 1, se puede observar las plantas madres, contenidas en tubetes, las estacas y estacas enraizadas de *Pee x Pch*.

Por otra parte, del análisis de interacción entre las edades de cortes (topping) y las familias, se pudo observar un efecto significativo ($p \leq 0,05$) para todas las variables estudiadas (total de brotes cosechados, sobrevivencia y estacas enraizadas en un año).

Para la variable estacas enraizadas por familia, la cual certifica el éxito en la multiplicación vegetativa, y considerando la interacción antes dicha; se pudo observar que las estacas provenientes de 20 familias mostraron un mayor número de plantas enraizadas cuando el topping fue realizado a los 3 meses de edad, 2 familias cuando se realizó a los 5 meses y 2 familias mostraron valores similares en las dos épocas de topping (Figura 2).

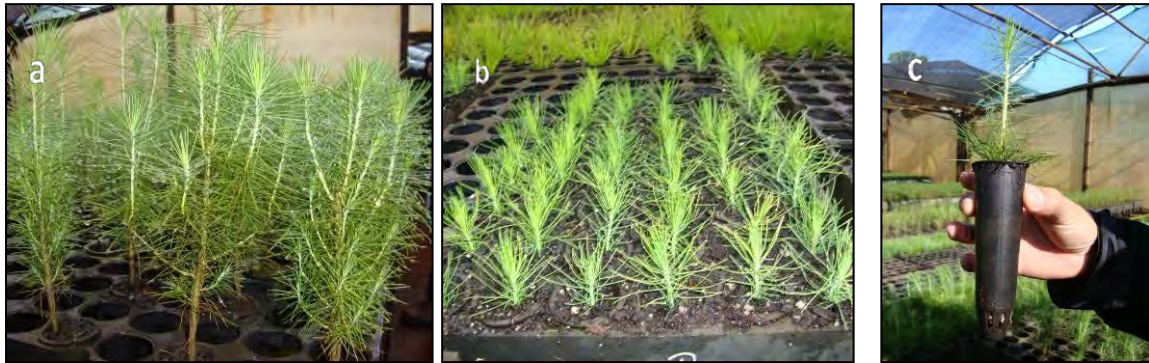


Figura 1: a) Plantas madres, b) estacas, c) estacas enraizadas de *Pee x Pch*.
Figure 1: a) mothers plant, b) cuttings, c) rooted cuttings *Pee x Pch*

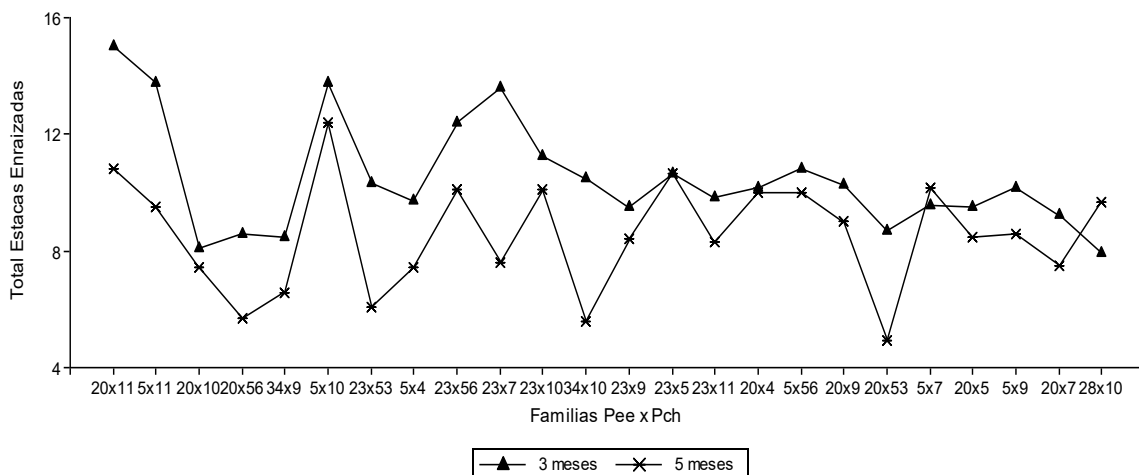


Figura 2: Efecto de la interacción de los factores Familias y de las edades (3 y 5 meses) de *Topping*, sobre el total de brotes enraizados.
Figure 2: Effect of interaction families and ages (3 and 5 months) of *Topping*, the total number of rooted shoots.

Observándose que bajo las condiciones de invernáculos antes nombradas, el mayor número de familias estudiadas, ha demostrado un mejor comportamiento, para la variable enraizamiento, cuando el topping a las plantas fue realizado a los 3 meses de edad.

Conclusiones

Para realizar de manera eficiente e integral el manejo en vivero, se puede optar por llevar a cabo el topping de las plantas madres (*Pee x Pch*), dadoras de estacas, a los 3 meses de edad:

Un corte a temprana edad, permite aumentar el número de cosechas de estacas en el período de un año y con porcentajes de enraizamiento cercano al 90%.

Agradecimientos

A la Empresa Pindó S.A. y al INTA, por permitir desarrollar dicha actividad.

Bibliografía

- Bunse, G. 2003. Pinos híbridos en la provincia de Corrientes. Jornada Técnica Foresto-industrial Híbridos de *Pee x Pch*. INTA EEA Montecarlo, LIPSIA S.A. Puerto Esperanza - Misiones, Argentina. 22-24 pp.
- Barrett, WH; SM Danner & A Henning. 1991. Híbridos de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* en cultivo en el norte de Corrientes. En: Actas jornadas sobre *Pinus caribaea*. CIEF. Eldorado - Misiones, Argentina. 25-26 pp.
- HORGAN, K., 1987. *Pinus radiata*. In: BONGA, J.M., and DURZAN, D.J. (Eds) Cell and Tissue Culture in Forestry. Volume 3. Case Histories: Gymnosperms, Angiosperms and Palms. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 128-145 pp.
- Malan, FS. 1995. The basic wood properties and sawtimber quality of South African Grown *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea*. Suid-Afrikanse Bosbouydskrif 173: 45-49.
- Nikles, DG. 1984. Establishment of progeny testing of clonal seed orchard us *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* F1 hybrids in Queensland. Proc. of a joint work conf. on provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees, Mutare, Zimbabwe 9-14 April. Barenes RD, Gibson GL, (eds.). Dept. of Forestry, Commonwealth For. Inst., Univ. of Oxford and Zimbabwe Forestry Comm., Harare. Zimbabwe. 567-568 pp.
- Greenwood, MS & KW Hutchison. 1993. Maturation as developmental process. In Clonal Forestry: Genetics, Biotechnology and Application. Eds. M.R. Ahuja and W.J. Libby. Springer-Verlag, New York, pp 14-33.
- Pahr, NM; ME Gauchat; F Sorge & GH Rodriguez. 2002. Ensayo comparativo de pinos subtropicales mejorados, NO de Misiones, Argentina. Novenas Jornadas Técnicas Forestales. INTA-FCF-MEyRNRyT. Eldorado, Misiones, Argentina. 67- 69 pp
- Trueman, SJ. 2006. Clonal propagation and storage of subtropical pines in Queensland, Australia. Southern African Forestry Journal- N° 208, November 2006.

SELECCIÓN GENÉTICA DE CLONES DE *Eucalyptus grandis* HILL EX MAIDEN EN EL SUDESTE DE CORRIENTES UTILIZANDO LA METODOLOGÍA REML-BLUP

GENETIC SELECTION OF CLONES *Eucalyptus grandis* HILL EX MAIDEN IN SOUTHEAST CORRIENTES USING REML-BLUP METHODOLOGY

López (h.); J. A.

INTA. EEA Bella Vista. Colonia 3 de Abril (3432) Bella Vista, Corrientes, Argentina
Tel. 03777 451 923 e-mail: jlopez@correo.inta.gov.ar

Resumen

Con el objetivo de seleccionar los mejores clones en velocidad de crecimiento y rectitud del fuste se analizaron al 9º año de edad 55 clones existentes en 3 ensayos en el Sudeste de la Provincia de Corrientes. La información del volumen individual (VOL), rectitud del fuste (RF) y densidad de la madera (DB) fue analizada utilizando la metodología de modelos mixtos. Las estimaciones de H^2 para RF (0,27), VOL (0,48) y DB (0,63) oscilaron entre moderadas a altas y las H^2 para las tres características fueron altas (0,90 a 0,97) indicando un alto control genético a nivel de rametos y de media de clones. Los resultados evidencian que el despliegue operacional de los clones con mayor ganancia genotípica predicha permitirá aumentar significativamente la productividad volumétrica y la calidad del fuste sin provocar cambios significativos en la densidad de la madera de las nuevas plantaciones y replantaciones que la empresa ejecute en la región.

Palabras clave: modelos mixtos, parámetros genéticos, ganancia genotípica

Summary

In order to select the best clones in growth rate and stem straightness at the 9th year of age, 55 clones were measured, existing in 3 trials in Southeast of Corrientes Province. The information in the individual volume (VOL), stem straightness (RF) and wood density (DB) was analyzed using mixed model methodology. H^2 estimates for RF (0,27), VOL (0,48) and DB (0,63) ranged from moderate to high and H^2 for all traits were high (0,90 to 0,97) indicating a high genetic control at the level of ramets and clones mean. The results show that the operational deployment of clones with higher genotypic gain significantly increases the volumetric productivity and quality of the stem without causing significant changes in the density of the wood of new planting and replanting the company implements in the region.

Key words: mixed model, genetic parameters, genotypic gain

Introducción

La mayor parte de la superficie forestada con *Eucalyptus grandis* en Argentina es de origen sexual. No obstante, con la inscripción y transferencia a través de convenios de multiplicación de los primeros clones realizada por el INTA a viveros comerciales y la producción masiva de clones propios por parte de algunas empresas para abastecer sus programas de plantaciones o comercializar a terceros, la silvicultura clonal en el Noreste de Argentina crece de manera notoria.

Desde mediados de la década de los 90 el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales (CIEF) y algunas empresas forestales líderes iniciaron sus propios programas de selección y propagación clonal. La mayoría de dichos programas en esos años se encontraban en la fase experimental: primeras selecciones, movilización, incremento de plantas madres e instalación de las primeras pruebas clonales (Carpinetti y López, 2001).

Entre los programas iniciados a fines de los 90, durante 1997-1999 Forestal Argentina S.A. procedió a seleccionar ejemplares sobresalientes en plantaciones comerciales a efectos de contar con un primer grupo de candidatos que alimente las primeras etapas del programa de propagación clonal de la empresa (López, 2001). En el transcurso de los años 2001 y 2002 gran parte del material propagado fue implantado en el Sudeste de Corrientes. La evaluación de dichos ensayos y la selección de los genotipos más destacados permitirá definir el material a utilizar en las próximas plantaciones clonales que desarrolle la empresa.

Hasta finales de los años 80 en los programas de mejoramiento forestal la selección de los mejores orígenes/procedencias, familias, individuos o clones siempre fue realizada en base a valores fenotípicos. Un importante salto cualitativo se dio durante la década de 1990 con la progresiva utilización de nuevas metodologías de análisis. Estas permiten efectivizar la selección en base a valores genéticos o genotípicos. En este sentido, la metodología REML/BLUP actualmente es considerada el procedimiento más efectivo. A través de la misma se realiza simultáneamente la estimación de los componentes de varianza y la predicción de valores genéticos o genotípicos permitiendo jerarquizar los materiales evaluados por su mérito genético.

El objetivo de este trabajo fue evaluar y seleccionar al 9º año de edad los mejores clones en velocidad de crecimiento y rectitud del fuste para la utilización en el programa de plantaciones clonales de Forestal Argentina S.A.

Materiales y métodos

a. Material genético

El material genético evaluado corresponde a 55 clones de *Eucalyptus grandis* seleccionados en plantaciones comerciales (procedencia local y huertos sudafricanos) por velocidad de crecimiento, rectitud del fuste y aptitud de desrame. Estos representan el 68% de los ejemplares seleccionados entre 1997-1999.

Los árboles candidatos fueron evaluados con un criterio de estratificación (método de árboles de comparación). Para la sanción de los árboles superiores se utilizó el método de niveles independientes de selección donde, para cada característica considerada, se estableció *a priori* un valor umbral de aceptación o rechazo. La proporción de individuos seleccionados en relación al número inicial de árboles de la población de selección fue de 1:8300.

Para la movilización de los selectos se realizó el apeo a tocón alto (1 m). Seguidamente se realizó el aclareo de vecinos, sellado de las cepas y fertilización con 1,5 Kg de fosfato diamónico en 8 puntos alrededor de las mismas. Cuando los rebrotes tuvieron el tamaño adecuado fueron macropropagados. Posteriormente fueron multiplicados *in vitro* en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos de la EEA INTA Bella Vista a través de un Convenio de Servicios Especiales entre la Cooperadora del INTA y Forestal Argentina S. A.

b. Evaluaciones realizadas y características de los ensayos

La información analizada en este trabajo corresponde al 9º año de edad. Las mediciones de diámetro (DAP con corteza a 1,30 m de altura) se realizaron con forcípula en 2 sentidos opuestos y las alturas (ALT) fueron medidas con un Vertex® III de 10 cm de

precisión. Para la estimación de los volúmenes individuales con corteza expresados en dm^3 (VOL) se utilizó la ecuación propuesta por Glade y Frieid (1988):

$$\text{VOL} = \exp[-9,9616718 + 1,8234264 * \text{Ln}(\text{DAP}) + 1,0697836 * \text{Ln}(\text{ALT})]$$

Para las evaluaciones de Rectitud del Fuste (RF) se proyectó una línea imaginaria desde la posición del observador ($\approx 1,70$ m) hasta el ápice del árbol y se ponderó a través de una apreciación subjetiva de cuatro clases (1: mala, 2: regular, 3: buena y 4: muy buena).

Para estimar la densidad básica de la madera (DB) se realizaron 2 determinaciones (Este-Oeste) con Pilodyn® 6J Forest. Estos valores (mm de penetración) fueron transformados a densidad básica de la madera (Kg/m^3) utilizando la función de ajuste elaborada por López *et al.* (2005) para individuos de 9 a 14 años de edad: $\text{DB} = (1344,2 * \text{Pilodyn})^{-0,4176}$.

Tabla 1. Características de los tres ensayos clonales (Paso de los Libres. Corrientes).
Table 1. Characteristics of three clonal test (Paso de los Libres. Corrientes).

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ubicación	29° 32'36 S 57° 02'53 O	29° 32'47 S 57° 08'01 O	29° 32'38 S 57° 02'54 O
Año de plantación	2001	2001	2002
Número de clones	31	31	36
Testigo de semilla	huerto semillero clonal SAFCOL 2.0		
Distancia plantación	4 m x 3 m	4 m x 3 m	4 m x 2,5 m
Diseño experimental	bloques al azar con 5 repeticiones incompletas *		
Unidad experimental	7 rametos en línea (medición de las 5 posiciones centrales)		
Suelo	arenosohidromórfico. Suborden Acueptes		

* Algunos clones no estuvieron representados en todos los bloques por falta de plantas

En la **tabla 1** se consignan las características de los 3 ensayos evaluados. La preparación del terreno, control de malezas y fertilización fueron los habitualmente utilizados por la empresa. Los Ensayos 1 y 2 al 6° año de edad fueron raleados quedando a una densidad promedio de 457 y 455 árboles/ha/clon respectivamente. Este procedimiento fue realizado a nivel de parcelas procurando una distribución lo más equidistante posible, balanceando el raleo con la presencia de fallas, eliminación de rametos excesivamente plagiotrópicos o muy pequeños debido a un escaso sistema radical adventicio. Ambos ensayos se encuentran muy cercanos (8,5 Km) y en el mismo tipo de suelo por lo que la interacción con el ambiente fue no significativa. La correlación genética (r_{GB}) entre ensayos antes y después del raleo del 6° año fue de 0,89 y 0,93 respectivamente. Asimismo, la r_{GB} al 9° año fue de 0,89 (López, 2010).

Por su parte, el Ensayo 3 no fue raleado, aunque también los rametos muy pequeños debido a un escaso sistema radical adventicio no fueron considerados en el análisis, con lo cual al 9° año de edad se registró en promedio 856 árboles/ha/clon. Dicho ensayo fue instalado en forma contigua al Ensayo 1 con lo cual el efecto ambiental se consideró despreciable.

Los 3 ensayos mencionados se encuentran conectados de la siguiente manera: entre los Ensayos 1, 2 existen 30 clones comunes y 2 no comunes. El Ensayo 3, en relación a los dos anteriores, posee 13 clones comunes y 23 no comunes. Los tres ensayos tuvieron el mismo testigo de semilla de *Eucalyptus grandis* SAFCOL 2.0 (TS).

c. Análisis genético

La información fue analizada utilizando la metodología de modelos mixtos (modelo lineal mixto univariado) procesando el programa SELEGEN-REML/BLUP desarrollado por

Embrapa (Resende, 2006). Este programa realiza la estimación de los componentes de varianza con el método REML (máxima verosimilitud restringida) y la predicción de los valores genéticos con el procedimiento BLUP (mejor predictor lineal insesgado).

Con el fin de estimar la magnitud de los cambios producidos en el VOL (considerada la variable respuesta más expresiva) como consecuencia del raleo del 6° año, se evaluaron 30 clones comunes existentes en los ensayos 1 y 2 analizando la información “antes del raleo” y “después del raleo” (6° año) y la obtenida al 9° año de edad.

Para integrar los tres ensayos en un solo análisis genético la información fue procesada como bloques al azar adoptando el siguiente modelo estadístico: $y = Xr + Zg + Wp + e$, donde y es el vector de datos, r el vector de efectos de repeticiones (asumidos como fijos) sumados a la media general, g el vector de efectos genotípicos (asumidos como aleatorios), p el vector de los efectos de parcela (aleatorios) y e el vector de los residuos. X , Z y W representan las matrices de incidencia para repeticiones, clones y parcelas, respectivamente.

Siguiendo el modelo descrito se realizaron dos análisis: *i*) para estimar los parámetros genéticos sólo se consideraron a los 55 clones y *ii*) con el fin de obtener un *ranking* que permita estimar la superioridad de los clones por sobre el material utilizado operacionalmente por la empresa, además de los 55 clones se incluyó al testigo de semilla SAFCOL 2.0 (TS).

Resultados y discusión

El raleo realizado al 6° año produjo un aumento de la media general de ambos ensayos ($\approx 6\%$) y un incremento de la varianza genotípica ($\approx 10\%$). Sin embargo, dicha actividad silvícola en general no modificó el efecto genotípico predicho (g) de los clones dentro de cada ensayo, ya que la relación entre dichos valores “antes” y “después del raleo” fue muy alta (**Gráfico 1**).

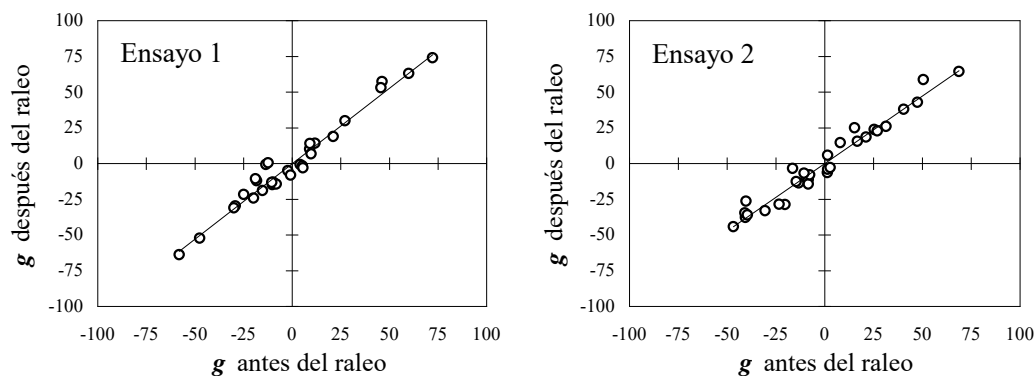


Gráfico 1: Relación entre efectos genotípicos predichos (g) para el VOL al 6° año de edad antes y después del raleo considerando 30 clones comunes de los Ensayos 1 y 2.

Graphic 1: Relationship between predicted genotypic effects (g) for the VOL before and after thinning to 6th year considering 30 common clones to Tests 1 and 2.

Sumado a lo antes comentado, las correlaciones simples de Pearson a nivel de parcelas (r_{fp}) y de media de clones (r_{fc}) resultaron altamente significativas ($P < 0,0001$) siendo de 0,98 la correlación genética (r_G) en ambos ensayos (**tabla 2**). Así mismo, como se observa en dicha tabla, las correlaciones simples y genéticas también fueron altas y significativas con respecto al VOL del 9° año, indicando que el nuevo estado de competencia, generado al 6° año, no benefició o perjudicó de manera significativa el futuro desempeño en VOL de algunos clones en particular y no alteró el *ranking* genotípico original. Matheson and Raymond (1983) estudiando el efecto del raleo en dos ensayos de progenies de *Pinus radiata* detectaron

similares resultados aunque el incremento de la varianza genética aditiva fue mucho mayor ($\approx 40\%$). Pese a ello, consideran que dado los altos valores de correlación genética aditiva obtenidos 3 a 5 años después del raleo (0,99 y 0,80) los *ranking* relativos de los parentales con respecto a sus valores de cría no serían modificados.

En base a los resultados analizados, la información obtenida al 9° año de los Ensayos 1 y 2 fue integrada con la del Ensayo 3 en un solo análisis.

Tabla 2: Correlaciones simples de Pearson a nivel de parcelas (r_{fp}), de media de clones (r_{fc}) y genéticas (r_G) entre el VOL antes y después del raleo del 6° año y VOL al 9° año de edad considerando 30 clones comunes de los Ensayos 1 y 2.

Table 2: Pearson simple correlations at the plot level (r_{fp}), clones means (r_{fc}) and genetic (r_G) between the VOL before and after thinning of the 6th year and VOL 9th year considering 30 common clones to Test 1 and 2.

		Ensayo 1	Ensayo 2
antes del raleo del 6° año	r_{fp}	0,96**	0,95**
<i>versus</i>	r_{fc}	0,98**	0,98**
después del raleo del 6° año	r_G	0,98	0,98
antes del raleo del 6° año	r_{fp}	0,72**	0,86**
<i>versus</i>	r_{fc}	0,79**	0,89**
9° año	r_G	0,89	0,90
después del raleo del 6° año	r_{fp}	0,79**	0,89**
<i>versus</i>	r_{fc}	0,84*	0,92**
9° año	r_G	0,91	0,92

*: $P < 0,0001$

Si bien la selección clonal desde el punto de vista práctico se realiza en base al valor medio de los clones y dado que su magnitud es afectada por el número de repeticiones, la heredabilidad individual a nivel de rametos (H^2_i) tiene gran importancia ya que permite comparar el nivel de variabilidad genético con respecto a otros materiales, especies y caracteres. En este sentido, según Falconer (1983) la heredabilidad no es una propiedad de un carácter únicamente, sino que también de la población y de las circunstancias ambientales a las que están sujetos los individuos. Por ello, dado que su magnitud depende de todos los componentes de varianza, un cambio en cualquiera de ellos la afectará.

Tabla 3. Componentes de varianza, parámetros genéticos y fenotípicos de las variables evaluadas en los 55 clones de *Eucalyptus grandis*.

Table 3. Variance components, genetic and phenotypic parameters of the variables evaluated in the 55 clones of *Eucalyptus grandis*.

	VOL	RF	DB
Vg	5388,15	0,1015	207,56
Vp	1227,92	0,0413	24,66
Ve	4514,38	0,2323	96,92
Vf	11130,46	0,3752	329,16
$H^2_i \pm e.e.$	$0,48 \pm 0,05$	$0,27 \pm 0,04$	$0,63 \pm 0,06$
$H^2_{cl}^{(1)}$	0,95	0,90	0,97

Vg: varianza genotípica entre clones; Vp: varianza ambiental entre parcelas; Ve: varianza residual dentro de parcelas; Vf: varianza fenotípica individual; H^2_i : heredabilidad individual en sentido amplio a nivel de rametos;

H^2_{cl} : heredabilidad clonal en sentido amplio \pm error estándar;⁽¹⁾ para estimar la H^2_{cl} se tuvo en cuenta la media armónica del número de rametos por parcela y de repeticiones por clon.

Tal como se consigna en la **tabla 3** las varianzas genotípicas (V_g) del VOL y la DB explicaron una alta proporción de la varianza fenotípica total (V_f). Menor magnitud presentó la V_g de la rectitud del fuste (RF) ya que solo explicó el 27%.

Las estimaciones de H^2_i para las características estudiadas oscilaron entre moderadas a altas y las H^2_{cl} en todos los casos fueron altas (0,90 a 0,97) indicando un alto control genético a nivel de rametos y de media de clones.

La H^2_i del VOL fue de 0,49, la de la RF de 0,27 y la de la DB de 0,63. Dichas estimaciones tuvieron un error estándar pequeño (10,4% para VOL, 14,8% para RF y 9,5% para DB). En relación a ello, Resende (2002) sugiere que errores estándar de hasta el 20% son aceptables para el uso y predicción de valores genéticos.

Las heredabilidades individuales a nivel de rametos obtenidas en este trabajo fueron similares a las encontradas en otros estudios involucrando clones de *Eucalyptus grandis* (Lambeth *et al.*, 1994; Osorio *et al.*, 2001) como también clones de otras especies del género (Gaspar and Borralho, 2004; García e Nogueira, 2005; Ignacio-Sánchez *et al.*, 2005; Varghese *et al.*, 2008).

En la **tabla 4** se presenta el valor genotípico predicho (VGP) de los 15 mejores clones en VOL y el VGP para las otras dos características evaluadas en dichos clones (RF y DB). Además se consigna el valor genotípico predicho para VOL, RF y DB del testigo de semilla. El VGP de los 55 clones evaluados y del testigo de semilla se obtuvo sumando el efecto genotípico predicho (g) de cada material a la media general del experimento. También se consigna la ganancia genética de cada clon expresada en porcentaje sobre la ganancia genética del testigo de semilla (G_{gTS}) para las tres características evaluadas.

Importantes ganancias genéticas en VOL y RF (caracteres objetivo de la selección realizada) fueron detectadas entre los 15 clones más productivos. Las ganancias genéticas en DB fueron significativamente menores, lo cual era esperable ya que esta propiedad no fue considerada en la selección. A pesar de ello, entre los clones más productivos solo tres tuvieron densidades genéticamente inferiores al testigo de semilla (FA81, FA76 y FA71). Como contrapartida el clon FA60 (el más denso de los 55 clones evaluados) mostró una superioridad genética del 11,9% sobre el testigo TS.

Sin duda que a medida que se reduzca la cantidad de clones a seleccionar, mayores serán las ganancias esperadas. En este sentido, en promedio, con la multiplicación de los primeros 5 clones listados en la **tabla 4** deben esperarse ganancias genéticas superiores al testigo de semilla de 42,90% en VOL, 41,31% en RF y 1,27% en DB. En la **imagen 1** se puede observar algunos de dichos clones al 9° año de edad.

Es interesante mencionar que el desempeño en VOL y RF del material de semilla (SAFCOL 2.0) utilizado como testigo, tuvo un comportamiento comparable al obtenido en otras investigaciones realizadas en ambientes similares a los que se desarrollaron los ensayos analizados (Aparicio *et al.*, 2011). Este material, al igual que lo ocurrido en la Mesopotamia Argentina, ha sido uno de los más utilizados por Forestal Argentina en su programa de plantaciones con *Eucalyptus grandis* (Dalla Tea and Larocca, 2011). Por lo tanto, el despliegue operacional de los clones más destacados permitirá aumentar significativamente la productividad volumétrica y la calidad del fuste sin provocar cambios significativos en la densidad de la madera de las nuevas plantaciones y replantaciones que la empresa ejecute en la región. En este sentido, Forestal Argentina para las próximas campañas espera cubrir (dependiendo de la capacidad de producción de plantas) por lo menos un 80% los requerimientos de su programa de plantaciones con material clonal (Dalla Tea, F. 2012. comunicación personal).

Tabla 4. Valor genotípico predicho (VGP) y ganancia genética porcentual en relación al testigo de semilla (GgTS) de los 15 mejores clones en VOL.

Table 4. Predicted genotypic value (VGP) and genetic gain in percent regarding the control seed (GgTS) of the 15 best clones in VOL.

Orden	Clon	VOL		RF		DB	
		VGP ($\mu+g$)	GgTS (%)	VGP ($\mu+g$)	GgTS (%)	VGP ($\mu+g$)	GgTS (%)
1	FA79	564,73	52,65	3,79	44,72	444,88	1,37
2	FA13	541,72	46,43	3,83	46,14	443,65	1,09
3	FA58	541,68	46,42	3,68	40,44	449,72	2,47
4	FA28	498,89	34,85	3,26	24,59	439,95	0,25
5	FA64	496,26	34,14	3,94	50,65	444,02	1,17
6	FA82	464,61	25,59	3,52	34,47	445,75	1,57
7	FA80	447,74	21,03	3,61	38,07	439,83	0,22
8	FA81	438,36	18,49	3,40	30,04	438,12	-0,17
9	FA76	437,12	18,16	3,83	46,43	424,86	-3,19
10	FA60	433,51	17,18	3,38	29,05	491,12	11,90
11	FA50	430,60	16,39	3,69	41,15	455,69	3,83
12	FA32	429,33	16,05	3,28	25,53	457,79	4,31
13	FA36	424,75	14,81	3,63	38,63	444,38	1,25
14	FA56	420,98	13,79	3,76	43,84	442,32	0,78
15	FA71	416,10	12,47	3,73	42,73	436,55	-0,53
31	TS	369,95	100	2,62	100	438,88	100

($\mu+g$): promedio general del ensayo + efecto genotípico predicho



Imagen 1. Vista de algunos clones sobresalientes en los Ensayos 1, 2 y 3 al 9º año de edad.

Image 1. Aspect of some outstanding clones in the Test 1,2 and 3 at 9th year.

Mejores resultados deben esperarse si las ganancias genéticas obtenidas son acompañadas con el desarrollo de tecnologías locales sitio-específicas de preparación del terreno, nutrición y la implementación de esquemas de raleo y aprovechamiento ajustados a modelos productivos clonales para usos sólidos de alto valor.

El avance logrado en esta primera etapa ratifica la importancia de continuar con la incorporación y evaluación de nuevos materiales (generados a partir de programas de mejoramiento genético propios o desarrollados en conjunto con otras empresas u organismos) a efectos de identificar progresivamente genotipos sobresalientes no solo en velocidad de crecimiento y forma, sino también en aptitud de la madera. Debe tenerse presente que el desarrollo de una silvicultura clonal sustentable requiere disponer de grupos de clones genéticamente diversos, fenotípicamente homogéneos y con propiedades acordes al destino industrial perseguido.

Conclusiones

La metodología REML-BLUP resultó efectiva para la estimación de los parámetros genéticos y la predicción de los valores genotípicos, principalmente por el desbalance de los ensayos evaluados. Las estimaciones de heredabilidad individual en sentido amplio para la rectitud del fuste (H^2_i : 0,27), el volumen medio individual (H^2_i : 0,48) y la densidad de la madera (H^2_i : 0,63) oscilaron entre moderadas a altas y las heredabilidades clonales en todos los casos fueron altas (H^2_{cl} entre 0,90 y 0,97) indicando un alto control genético a nivel de rametos y de media de clones. El despliegue operacional de los clones con mayor ganancia genotípica predicha permitirá aumentar significativamente la productividad volumétrica y la calidad del fuste sin provocar cambios significativos en la densidad de la madera de las nuevas plantaciones y replantaciones que la empresa ejecute en la región.

Agradecimientos

El autor agradece al Ing. Agr. Augusto Javier López por las mediciones, carga y validación de datos. Al Dr. Nuno Borralho por sus valiosos aportes y la revisión del borrador. Al Ing. Ftal. Fernando Dalla Tea por su permanente apoyo y a Forestal Argentina S. A. por permitir la publicación de estos resultados.

Bibliografía

- Aparicio, J. L., Caniza, F. J. y F. Larocca. 2011. Comportamiento de materiales genéticos de *Eucalyptus grandis* con manejo de madera para uso sólido en el Sudeste de Corrientes. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, octubre de 2011. 10 p. Actas en CD.
- Dalla Tea, F. y F. Larocca. 2011. An intensive eucalypt silviculture to cope with environmental stresses in Argentina. IUFRO Conference on Improvement and Culture of *Eucalypts*. Porto Seguro, BA. Proceedings edited by José Leonardo de Moraes Gonçalves et al.. Piracicaba: ESALQ, 2011:11-14
- Carpinetti, L. y J. A. López (h.). 2001. Producción de clones de *Eucalyptus* en Argentina. IUFRO International Symposium. Unit 2.08.03 Improvement and culture of *Eucalypts*. Valdivia, Chile, 10-15 september. pp: 156
- Falconer, D. S. 1983. Introducción a la genética cuantitativa. Editorial Continental. Mexico. 430 p.
- Glade, J. E. y R. A. Field. 1988. Ecuaciones de volumen para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el Noreste de Entre Ríos. VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero. Tomo II. pp: 416-420
- García, C. H. e M. C. S. Nogueira. 2005. Utilização da metodologia MEML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. Scientia Forestalis. n. 68: 107-112
- Gaspar, M. J. and N. Borralho. 2004. Comparing estimates of heretability base don clones, parent offspring and open pollinated progenies of *E. globulus*. 2004. In: Eucalyptus in a Changing World. (Eds. N.M.G. Borralho, J.S. Pereira, C. Marques, J. Coutinho, M. Madeira and M. Tomé). Proc. IUFRO Conf., Aveiro 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto Investigação da floresta e Papel, Portugal): 173-174.
- Ignacio-Sanchez, E., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J. y A. Borja-de la Rosa. 2005. Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de la madera en edades juveniles de *Eucalyptusurophylla* S. T. Blake. Agrociencia 39: 469-479.
- Lambeth, C.; Endo, M. and J. Wright. 1994. Genetic analysis of 16 clonal trial of *Eucalyptus grandis* and comparisons with seedling checks. Forest Science: 397-411

- López (h.), J. A. 2001. Primeras etapas del programa de propagación clonal de *Eucalyptus grandis* iniciado por Forestal Argentina. XVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. 25-26 de Octubre 2001.
- 2010. Comportamiento de 30 clones de *Eucalyptus grandis* seleccionados por velocidad de crecimiento y rectitud del fuste. Forest Productivity Cooperative Meeting. 17 November 17, 2010. 6 p.
- López, J. A. (h); Marcó, M. A.; Harrand, L. y P. Y. Genes. 2005. Interacción genotipo-ambiente y parámetros genéticos de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* utilizando Pilodyn. 3^{er} Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. 6 al 9 de Septiembre de 2005. 14 p.
- Matheson, A. C. and C. A., Raymond. 1984. Effects of thinning in progeny test on estimates of genetic parameters in *Pinus radiata*. *Silvae Genetica*. 33, 4-5: 125-128
- Osorio, L. F.; White, T. L. and D. A. Huber. 2001. Age trends of heritabilities and genotype-by-environment interactions for growth traits and wood density from clonal trials of *Eucalyptus grandis*. *Silvae Genetica* 50, 3-4: 30-37
- Resende, M. D. V. 2002. Genética biométrica y estadística no melhoramento de plantas perennes. Brasilia: Embrapa informação Tecnológica. 2002: 975 p.
- 2006. O software Selegen-Reml/Blup. Documentos Embrapa. Campo Grande. 2006. Copyright N. 00052763: 300 p.
- Varghese, M., C. E. Harwood, R., Hegde and N., Ravi. 2008. Evaluation of provenances of *Eucalyptus camaldulensis* and clones of *E. camaldulensis* and *E. tereticornis* at contrasting sites in southern India. *Silvae Genetica* 57, 3: 171-179

EFEECTO DE LA JUVENILIDAD Y EL SUSTRATO EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE *Araucaria angustifolia*(Bert.) O.Kuntze

EFFECT OF JUVENILITY AND SUBSTRATE ON ROOTING OF THE *Araucaria angustifolia*(Bert.) O. Kuntze CUTTINGS

Molina, S.¹; Mayol, M.¹; Gauchat, M.E.²; Crechi, E.²

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – EEA Cerro Azul, Misiones. CC 6, CP 3313. sandra@cerro.inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – EEA Montecarlo, Misiones.

Resumen

En especies leñosas la aptitud para la propagación vegetativa está asociada al grado de maduración, siendo la fase juvenil la de mayor potencial de enraizamiento. El objetivo fue evaluar la influencia de la edad del material (juvenil y adulto) en la sobrevivencia y enraizamiento, en dos tipos de sustrato. Las estacas de *Araucaria angustifolia* se obtuvieron a partir de plantas de 3 meses y de 3 años, utilizando perlita y una combinación de cáscara de pino y perlita como sustratos. La perlita registró los mayores valores de sobrevivencia y número de raíces, siendo el material juvenil superior al adulto. Las estacas juveniles presentaron el mayor porcentaje de enraizamiento en ambos sustratos. De los datos presentados se concluye que la juvenilidad del material mejora la capacidad de enraizamiento, siendo la perlita un sustrato adecuado para la propagación vegetativa de esta especie.

Palabras clave: propagación vegetativa, juvenil, adulto, araucaria

Summary

In woody species the aptitude for vegetative propagation is associated with the degree of maturation, being the juvenile phase of greatest potential for rooting. The aim was to evaluate the influence of age of the material (juvenile and adult) on survival and rooting, in two types of substrate. *Araucaria angustifolia* cuttings were obtained from plants with 3 months and 3 years age, using perlite and a combination of perlite and pine bark as substrates. Perlite recorded the highest values of survival and number of roots, being the juvenile material superior to the adult. The juvenile cuttings showed the highest percentage of rooting in both substrates. From this results, is concluded that the juvenility of the material improves rooting, being perlite a suitable substrate for vegetative propagation of this species.

Key words: vegetative propagation, juvenile, adult, Parana pine

Introducción

La especie *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Kuntze (araucaria), comúnmente se propaga por vía sexual con dificultades debido a la reducción de la viabilidad que presentan las semillas y la imposibilidad de conseguir las mismas en cantidades suficientes. Los pocos trabajos existentes en propagación vegetativa de esta especie se deben a una serie de limitaciones para su adopción a escala comercial. Entre ellas se pueden mencionar, restricciones de rejuvenecimiento del material adulto, hábito plagiotrópico de crecimiento de las brotaciones laterales, técnicas de manejo del ambiente de propagación y enraizamiento,

sistemas de enraizamiento y conducción que no necesiten de trasplante para las estacas enraizadas, vigor del sistema radicular, etc. (Wendling *et al.*, 2009).

En especies leñosas la aptitud para la propagación vegetativa está asociada al grado de maduración, siendo la fase juvenil la que presenta mayor potencial de enraizamiento comparada con la fase adulta (Dirr y Heuser, 1987; Caso, 1992; Titónet *et al.*, 2002; Wendling y Xavier, 2003). Además del aumento de los porcentajes de enraizamiento, de la mayor calidad y rapidez de formación del sistema radicular (Hartmann y Kester, 1965; Gomes, 1987), se ha observado un aumento en el vigor radicular (número y longitud de raíces) en razón de la mayor juvenilidad de los propágulos (Schneck, 1996; Wendling y Xavier, 2003). El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la influencia de la juvenilidad en la capacidad de enraizamiento de estacas de *Araucaria angustifolia*.

Material y métodos

Las estacas, con una longitud de 7-9 cm, se obtuvieron a partir de ramas cosechadas de plantas de 3 meses para el material juvenil y de 3 años para el adulto. Luego de preparadas, las estacas recibieron un tratamiento con fungicida (N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida (Captan 80% p/p), 2 gL⁻¹) sin la aplicación de reguladores de crecimiento y posteriormente fueron puestas a enraizar en bandejas plásticas de 40 celdas de 90 cm³ de capacidad.

Se utilizaron dos sustratos: perlita y una combinación de cáscara de pino y perlita en una proporción 9:1.

Los datos presentados corresponden a la evaluación realizada a los 9 meses de instalado el ensayo, registrando valores de sobrevivencia (%), enraizamiento (%) y número de raíces primarias.

El experimento fue repetido 3 veces con 10 réplicas por repetición.

El diseño estadístico empleado fue el de bloques completos al azar. El análisis de los datos se realizó con el software estadístico InfoStat versión 2008.

Resultados y discusión

Independientemente de la edad del material, se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) a favor de la perlita al 100% (P100). La mezcla de cáscara de pino y perlita (CP90+P10) no sería aconsejable, por lo menos en las proporciones utilizadas en el presente ensayo. La mayor sobrevivencia fue observada en estacas juveniles, alcanzando el 68% (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de la edad del material a propagar y del sustrato en la sobrevivencia de estacas de *Araucaria angustifolia*.

Table 1. Effect of age of the material and substrates on survival of *Araucaria angustifolia* cuttings.

Tratamiento	Sobrevivencia (%)
Estacas juveniles-Perlita 100% (EJ-P100)	68,6 ^a
Estacas adultas-Perlita 100% (EA-P100)	48,6 ^{ab}
Estacas juveniles-Mezcla CP y Perlita (EJ-CP90+P10)	24,3 ^{bc}
Estacas adultas-Mezcla CP y Perlita (EA-CP90+P10)	12,9 ^c

Duncan; $\alpha = 0,05$

Con respecto al enraizamiento, se observó que las estacas provenientes de material juvenil fueron las que registraron los mayores valores (20 y 40%), en los sustratos evaluados, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) (Gráfico 1).

Las estacas adultas y juveniles respondieron de la misma manera frente a los sustratos evaluados, registrando mayores valores de enraizamiento cuando se utilizó la perlita sola (P100) (Gráfico 1).

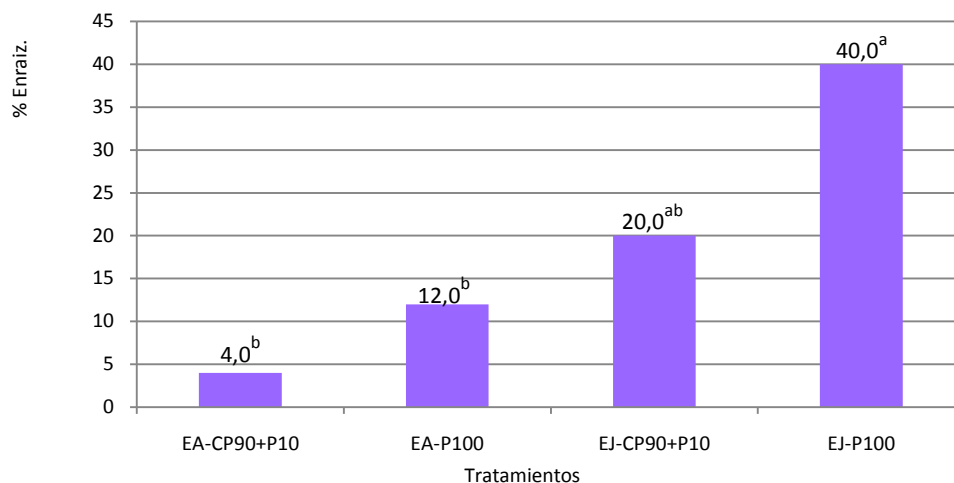


Gráfico 1. Enraizamiento promedio (%) de estacas adultas (EA) y juveniles (EJ) de *Araucaria angustifolia*, en dos sustratos.

Figure 1. Average rooting (%) of adult cuttings (EA) and young cuttings (EJ) of *Araucaria angustifolia*, in two substrates.

En el Gráfico 2, se observa que el número promedio de raíces primarias fue mayor en estacas juveniles. Tanto en estacas juveniles como adultas, se observó una mejor respuesta de este parámetro con la utilización de la perlita (P100) como sustrato. En la mayoría de los casos las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

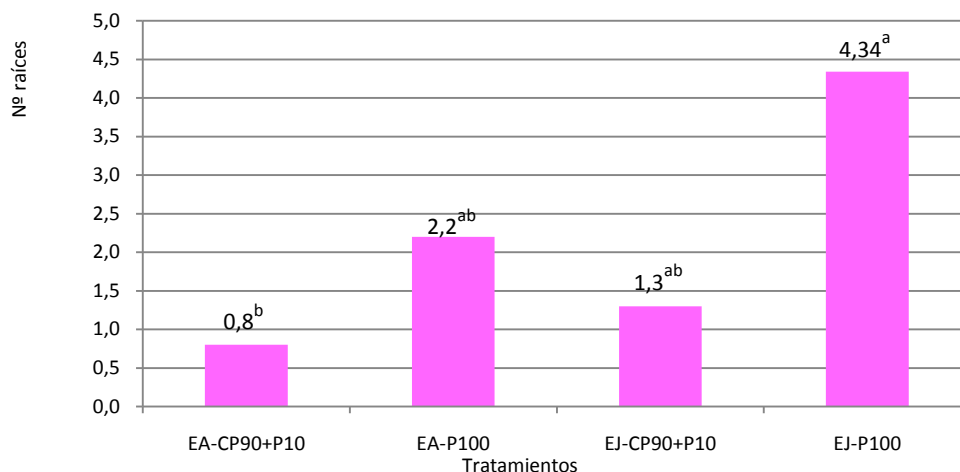


Gráfico 2. Número promedio de raíces en estacas adultas (EA) y juveniles (EJ) de *Araucaria angustifolia*, en dos sustratos.

Figure 2. Average number of roots in adult cuttings (EA) and young cuttings (EJ) of *Araucaria angustifolia*, in two substrates.

Los datos hasta aquí presentados, concuerdan con lo citado por varios autores (Dirr y Heuser, 1987; Caso, 1992; Schneck, 1996; Titónet *al.*, 2002; Wendling y Xavier, 2003) en

cuanto a que la juvenilidad del material utilizado influye positivamente en la propagación vegetativa de una especie.

En todos los casos las raíces emergieron a partir del tejido de cicatrización formado en la estaca (Imagen 1). Las estacas que no forman el tejido de cicatrización no sobreviven (datos no publicados).

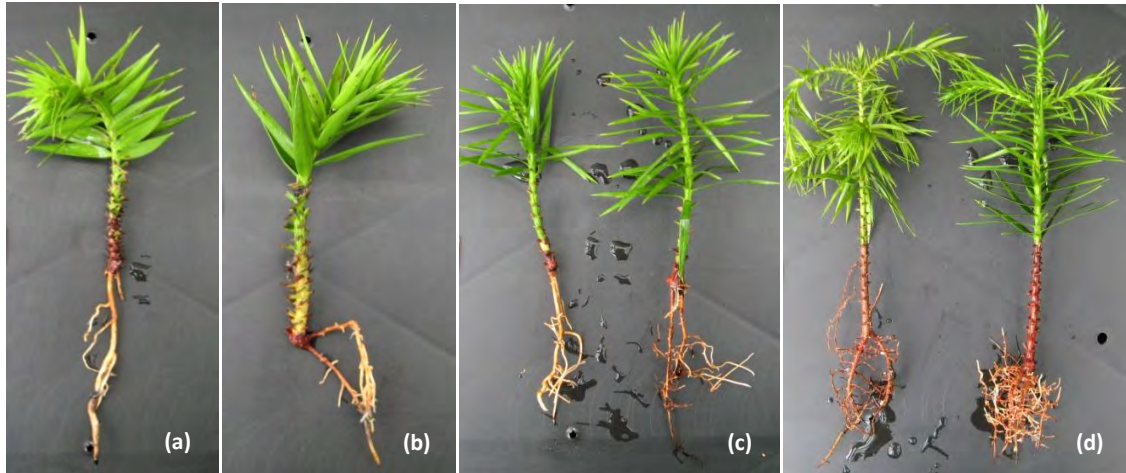


Imagen 1. Estacas enraizadas de *Araucaria angustifolia*: a) adulta en cáscara de pino + perlita (CP90+P10); b) adulta en perlita (P100); c) juvenil en cáscara de pino + perlita (CP90+P10) y d) juvenil en perlita (P100).

Image 1. Rooted cuttings of *Araucaria angustifolia*: a) adult cutting in pinus bark + perlite (CP90+P10); b) adult cutting in perlite (P100); c) juvenile cutting in pinus bark + perlite (CP90+P10) and d) juvenile cutting in perlite (P100).

Conclusiones

La edad ontogenética influye en la capacidad de enraizamiento de estacas de *Araucaria angustifolia*.

El material juvenil registra los mayores valores de sobrevivencia, enraizamiento y número de raíces en estacas de *Araucaria angustifolia*.

La perlita como sustrato para enraizamiento de araucaria resultó ser mejor que la cáscara de pino.

Bibliografía

- Caso, O.H. 1992. Juvenilidad, rejuvenecimiento y propagación vegetativa de las especies leñosas. *Agriscientia* 9(1) : 5-16.
- Dirr, M.A.; Heuser, C.W.Jr. 1987. *The Reference Manual of Woody Plant Propagation: From seed to tissue culture*. 239p.
- Hartmann, H.T.; Kester, D.E. 1965. *Plant Propagation. Principles and Practices*. 559p.
- Titón, M.; Xavier, A. y Campos Otón, W. 2002. Dinámica do enraizamento de microestacas e miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. *R. Árvore, Viosa-MG*, v.26, n.6, p.665-673.
- Wendling, I. y Xavier, A. 2003. Miniestaquia seriada no rejuvenescimento de clones de *Eucalyptus*. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.38, n.4, p.475-480.
- Wendling, I.; Dutra, L.F.; Hoffmann, H.A.; Bettio, G.; Hansel, F. 2009. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. *Agronomía Costarricense* 33(2):309-319.

PROPAGACIÓN CLONAL DE VARIEDADES LOCALES DE MISIONES (ARGENTINA) DE *Jatropha curcas* L.

CLONAL PROPAGATION OF MISIONES (ARGENTINA) LOCAL VARIETY OF *Jatropha curcas* L.

Niella, F¹.; Rocha², P.; Eibl³ B.; Radins, M.⁴; Flor, D⁵; Facio, S⁶. y Velazco, S⁷, Britez D⁸.

¹Docente-Investigador FCF-UNaM. Email: fniella@arnet.com.ar; ²Docente-Investigador FCF-UNaM. Email: lpv@facfor.unam.edu.ar; ³Docente-Investigador FCF-UNaM. Email: beibl@facfor.unam.edu.ar; ⁴Ing.Ftal. FCF-UNaM; ⁵ Ing. Ftal. APSA; ⁶Lic. en Genética; ⁷Ing.Ftal. FCF-UNaM; ⁸Ing.Ftal. BDP SA

Resumen

La presente publicación demuestra la potencialidad de propagar clonalmente germoplas malocal de *Jatropha curcas* L, que permitirá establecer las bases para iniciar un programa de domesticación en la provincia de Misiones. Los resultados del presente trabajo evidencian que en el caso del cultivo *in vitro*, los medios inductivos afectan en forma significativa la formación de tejido organogénico; obteniéndose la mayor frecuencia de inducción en explantos cultivados en medios nutritivos suplementados con BA, KIN o TDZ en combinación con IBA. No existieron diferencias significativas entre los medios nutritivos estudiados en el proceso de diferenciación, pudiendo utilizarse tanto MS, MS ½ o MS + CA con una alta tasa de diferenciación. En el cultivo *ex vitro*, las estacas apicales obtenidas, tanto de plantas madres juveniles como adultas, tratadas con solución de etanol (TC1) sin AIB, presentaron porcentaje de enraizamiento significativamente mayores a las estacas tratadas con IBA. Sin embargo, cuando las estacas de posición apical recibieron el tratamiento control con agua (TC2), demostraron diferencias significativas entre las estacas juveniles y adultas. El mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo en estacas de posición apical, juveniles, que recibieron tratamiento control con agua (TC2) (75±15%).

Palabras clave: cultivo de tejidos, enraizamiento de estacas, biocombustibles, hormonas, etanol

Summary

The present publication demonstrated the potentiality of clonal propagation of *Jatropha curcas* L local germplasm that will allow establishing the bases to initiate a domestication program in the province of Misiones. The present research showed that the inductive media affect significantly the development of organogenic tissue; obtaining the greater frequency of induction in explants cultivated in nutrient media supplemented with BA, KIN or TDZ in the presence of IBA. Significant differences between nutrient media studied in the differentiation process were not observed, being able to be used MS, MS ½ or MS + CA with a high rate of differentiation. In the *ex vitro* cultures, the apical section cuttings obtained, from juvenile as well as from adult stock plants, treated with ethanol solution (TC1) without IBA, demonstrated significantly greater percentage of rooting, when compared to the those treated with IBA. Nevertheless, when the apical section cuttings received the treatment control with water (TC2), they showed significant

differences between young and adult cuttings. The greater percentage of rooting was obtained in juvenile apical cuttings, which received treatment control with water (TC2) ($75\pm 15\%$).

Key words:tissue culture, rooting cuttings, biodiesel, hormones, ethanol.

Introducción

Los biocombustibles de origen vegetal aparecen como una solución alternativa al problema energético a escala global y local. Entre los vegetales identificados como potenciales para la generación de biodiesel se encuentra la *Jatropha*. Es este, un arbusto perenne originario de Centroamérica de la familia Euforbiácea, pero introducido y naturalizado en distintos lugares del mundo como especie ampliamente valorizada por el aceite presente en sus semillas (llega hasta el 40 % de contenido de aceite), para la producción de biodiesel. El área de dispersión de *Jatropha* llega hasta Argentina, siendo Misiones, una de las provincias considerada como óptimas para el cultivo y desarrollo de *Jatropha curcas* (FALASCA y Ulberich, 2008). Las semillas de *Jatropha curca*, la fuente primaria de producción de aceite no comestible para la producción de biodiesel, son genéticamente heterocigotos, y presenta un alto grado de variabilidad en el porcentaje de aceite extraíble, que va del 4 al 40% dentro de la especie (JHAet. al., 2007). La potencialidad de *Jatropha curca* como fuente de biodiesel se verá enormemente favorecida si existe una técnica de propagación que permita multiplicar en forma clonal aquellas variedades que posean un alto tenor de aceite extraíble en sus semillas. La presente publicación describe los resultados de ensayos conducentes a la elaboración de una metodología para propagar clonalmente material genético selecto, y permitirá establecer las bases para iniciar un programa de domesticación de *Jatropha curcas*, en la provincia de Misiones.

Con el objetivo de generar en el mediano plazo, una metodología de propagación *in vitro/ ex vitro* para *J. curcas*, factible de ser aplicado a escala comercial a partir de material genético selecto, se plantean los siguientes objetivos específicos: a) evaluar la respuesta al cultivo *in vitro* de *Jatropha curcas* a partir de diferentes tipos de explantos (hojas, segmentos nodales, segmentos de hipocotiles y brotes apicales) y condiciones de la planta donante, que permita determinar la estrategia de propagación más apropiada para alcanzar el objetivo propuesto; b) evaluar la respuesta al cultivo *ex vitro* de *Jatropha curcas* a partir de plantas donantes juveniles y adultas; modo de aplicación, concentración y tipo de hormona utilizada de las especies y tipo de estaca utilizada (porción apical con relación con las estacas basales).

Para lograr estos objetivos se plantearon varias hipótesis de trabajo que se describirán a continuación con sus correspondientes resultados en forma separada para las técnicas de cultivo *in vitro* y *ex vitro*.

Materiales y Métodos

Ensayos in vitro

Ensayo 1: Inducción a la formación de tejido organogénico

Material Vegetal

Se utilizaron plántulas de 30-60 días de *Jatropha curcas* germinadas *in vitro* para la obtención de los explantos.

Explantos:segmentos de hojas, nodales, segmentos apicales y segmentos de ápices de raíces.

Medio nutritivo

Todos los medios estudiados utilizaron MS (MURASHIGE y SKOOG, 1962) suplementados con 30 g/l de sacarosa y 7 g/l de agar, pH=5.8, con diferentes combinaciones de tipo y concentraciones de reguladores de crecimiento.

Condiciones de cultivo

En cámara de cría con fotoperiodo (16 horas de luz) y temperatura controlada (24-28° C)

Tratamientos inductivos

M1: MS + TDZ⁹ + BA¹⁰ + IBA¹¹ (DEORE y JOHNSON, 2008);

M2: MS + KIN + IBA (SUJATHA *et al.*, 2005);

M3: MS + KIN¹² (JHA *et al.*, 2007);

M4: MS + TDZ (SUJATHA *et al.*, 2005);

M5: MS + BA (Patente, MURALI *et al.*, 2008);

M6: MS + BA + IBA + suplementos orgánicos (SHRIVATAVA y BANERJEE, 2008)

Ensayo 2: Diferenciación de brotes

Explantos: consistieron en porciones de aproximadamente 5mm² de masas organogénicas obtenidas en el ensayo 1.

Tratamiento de diferenciación:

MS: MS (MURASHIGE y SKOOG, 1962), suplementados con 30 g/l de sacarosa y 7 g/l de agar, pH=5.8

MS1/2: consistió en la reducción a la mitad de la concentración de macro nutrientes descriptos en el medio nutritivo MS (MURASHIGE y SKOOG, 1962), suplementados con 30 g/l de sacarosa y 7 g/l de agar, pH=5.8

MS+CA: MS (MURASHIGE y SKOOG, 1962), suplementados con 30 g/l de sacarosa, 5g/l de carbón activado y 7 g/l de agar, pH=5.8

Diseño experimental y Análisis estadístico

En todos los casos se utilizó un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial de los tratamientos con 10 repeticiones por tratamiento, donde cada repetición consistió de 5 explantos. Los datos fueron analizados utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) y test de separación de medias (LSD). Las variables estudiadas incluyeron: frecuencia de explantos con presencia de tejido organogénico¹³ y frecuencia de explantos con presencia de brotes. Los ensayos fueron evaluados a las 8-12 semanas del establecimiento.

Ensayos ex vitro

Material Vegetal

Plantas Madres Juveniles

Se utilizaron estacas obtenidas de plantas madres (de semillas de origen local) criadas a pleno sol, con fertilización de base (liberación lenta Osmocote Plus® 15-8-12), con sustrato de corteza de pino compostada, criadas en contenedores de 10 litros a pleno sol, y riego por aspersión.

⁹ TDZ: Thidiazuron

¹⁰ BAP: 6-Benzilaminopurina

¹¹ IBA: Acido Indole Butírico

¹² KIN: Kinetina

¹³ Tejido organogénico: masa indiferenciada de células presente en el explanto inducido

Plantas Madres Adultas

Se utilizaron estacas obtenidas de plantas madres adultas, (de origen desconocido), creciendo en áreas urbanas cercanas a la ciudad de Eldorado, Misiones, Argentina (Región subtropical del NE de Argentina con un régimen pluviométrico promedio de 2000 mm anuales, sin estación seca y temperatura media anual de 19 a 20°C. Riesgo de heladas de 0 a 10 días por año, esto es, días con temperaturas menores a 0°C.

Cosecha y manejo de estacas

El material colectado de las plantas madres juveniles fueron los ápices de 8 a 12cm, mientras que las estacas seleccionadas de plantas adultas presentaron una longitud de 0.20 – 1 m. Las estacas fueron acondicionadas mediante un corte fresco de la base (horizontal) al tamaño final de 8-10 cm y aplicación de un tratamiento de las bases con fungicidas CAPTAN® en polvo 20 gr/litro y sellado de los ápices con cera estampada (a las estacas basales). Las estacas así acondicionadas fueron asignadas a los tratamientos inductivos.

Tratamientos

Edad de la planta madre:

J: estacas obtenidas de plantas madres juveniles juvenil.

A: estacas obtenidas de plantas madres adulta

Posición de la estaca en el brote:

Ap: correspondiente a la porción apical del brote

Bs: correspondiente a la porción basal de la estaca, situada por debajo de la posición apical

Tratamientos inductivos(hormonales):

T1: inmersión, por 10 segundos, de la base de la estaca en una solución de Ácido Indol Butírico (AIB) 15.000 ppm, disuelto en 70% de etanol.

T2: inmersión, por 24 horas, de la base de la estaca en una solución acuosa de 150 ppm de AIB

TC1: inmersión, por 10 segundos, de la base de la estaca en una solución 70% Etanol sin AIB.

TC2: Agua sin AIB.

Cultivo: Las estacas acondicionadas y tratadas, fueron insertadas en bandejas con arena como sustrato.

Diseño experimental y análisis estadístico

En todos los casos se utilizo un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial de los tratamientos con 40 repeticiones (estacas) por tratamiento, la unidad experimental fue la estaca. Los datos fueron analizados utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) y test de separación de medias (LSD). Las variables consideradas para evaluar el efecto de los tratamiento fueron: porcentaje de estacas inducidas; porcentaje de estacas enraizadas; numero de raíces primarias; numero de raíces secundarias; presencia de raicillas y numero de brotes.

Resultados y Discusión

Ensayos in vitro

Ensayo 1: Inducción a la formación de tejido organogénico

El cultivo de segmentos de hojas, nodales, apicales y de raíces, obtenidos de plántulas germinadas *in vitro* de *Jatropha curcas* de origen local, en diferentes medios de inductivos publicados para la especie mencionada (DEORE y JOHNSON, 2008; SUJATHA *et al.*, 2005; JHA *et al.* 2007; MURALI *et al.*, 2008; y SHRIVATAVA y BANERJEE, 2008), resulto en una respuesta diferencial para la inducción de tejido organogénico.

Los resultados obtenidos indican que los explantos de segmento de hojas cultivados en los medios nutritivos M1 y M2 generaron tejidos organogénicos presentando diferencias significativas (p-value: 0.0007) entre ellos, con una frecuencia de inducción de tejido organogénico de $60 \pm 5.5\%$ y $100 \pm 0.0\%$ respectivamente, mientras que en los explantos cultivados en los medios nutritivos M3, M4, M5 y M6 la frecuencia de inducción fue del 0%. En el caso del cultivo de segmentos nodales, los medios nutritivos M4 y M6 demostraron ser los indicados para la formación de tejidos organogénicos, no existiendo diferencias significativas (p-value: 0.0562) entre ellos, con una frecuencia de formación de tejido organogénico de $100 \pm 0.0\%$ y $90 \pm 8.4\%$ respectivamente; observándose un 0% de frecuencia de inducción en los explantos cultivados en medio M1, M2, M3, y M5. En el caso de los brotes apicales, los medios nutritivos M1 y M2 demostraron formación de tejido organogénico existiendo diferencias significativas (p-value: 0.0004) entre ellos, obteniéndose una frecuencia de $100 \pm 0.0\%$ y $50 \pm 2.3\%$ respectivamente; los medios M3, M4, M5, y M6 no indujeron a la formación de tejido organogénico. Los segmentos de ápices de raíces no formaron tejido organogénico en ninguno de los medios inductivos (Tabla 1). Los segmentos de hojas, nodales y apicales cultivados en medios inductivos, que contenían IBA, sin considerar la citokinina utilizada, ya sea BAP o Kinetina, indujeron a la formación de tejido organogénico. Mientras que los mismos explantos cultivados en medios inductivos que contenían BAP o Kinetina, en ausencia de IBA no mostraron signos de formación de tejido organogénico. La presencia de TDZ en el medio inductivo, aun en ausencia de IBA, demostró ser adecuado para la inducción de tejido organogénico, mostrando mayor efecto inductivo en segmentos nodales y apicales que en segmentos de hojas, resultados comparables a los obtenidos por SUJATHA *et al.* (2005) y DEORE y Johnson (2008). La capacidad inductiva del TDZ, en diferentes tipos de explantos en especies leñosas, ha sido previamente demostrada por varios autores (DEORE y JOHNSON, 2008; HUETTEMANY Preece, 1993; y MENGET *et al.*, 2004). El TDZ ha demostrado tener un efecto similar a las citokininas, además de actuar como regulador de los niveles endógenos de las auxinas (MURTHY *et al.* 1995), reafirmando el hecho de que en nuestro ensayo, indujera a la formación de tejido organogénico aun en ausencia de IBA.

TABLA 1. Efecto del medio nutritivo, y tipo de explanto en la formación de tejido organogénico: Promedio \pm Error estándar (Prom \pm ES), y número de repeticiones (N) para la variable frecuencia de explantos con tejido organogénico.

TABLA 1. Nutrient media and explant type effect on frequency of explant with organogenic tissue. Mean \pm Standarderror (Prom \pm ES), and replication number (N).

Medio inductivo	N	Segmento de hojas (Prom \pm ES)	Segmentos nodales (Prom \pm ES)	Brotos apicales (Prom \pm ES)	Segmento de ápices de raíces (Prom \pm ES)
M1	10	60 \pm 5.5b	0b	100 \pm 0.0a	0
M2	10	100 \pm 0.0a	0b	50 \pm 2.3b	0
M3	10	0c	0b	0c	0
M4	10	0c	100 \pm 0.0a	0c	0
M5	10	0c	0b	0c	0
M6	10	0c	90 \pm 8.4a	0c	0

M1: MS + TDZ + BAP + IBA (Deore, 2008); **M2:** MS + Kinetina + IBA (Sujatha, 2005); **M3:** MS + Kinetina (BahranJha, 2007); **M4:** MS + TDZ (Sujatha, 2005); **M5:** MS + BAP (Patente, Murali et al, 2008); y **M6:** MS + BAP + IBA + suplementos orgánicos (Shrivatava, 2007)

Ensayo 2: Diferenciación de brotes

En la diferenciación de los tejidos organogénicos generados en la fase inductiva (en segmentos apicales, nodales y de hojas), los medios de diferenciación utilizados resultaron adecuados para la diferenciación de brotes, no presentando diferencias significativas entre ellos, en las condiciones estudiadas (Tabla 2). Se observa en este ensayo, que no fue necesaria la aplicación de reguladores de crecimiento en el medio de diferenciación, y que el medio nutritivo MS es apropiado para la diferenciación de brotes.

TABLA 2. Efecto del medio nutritivo en la frecuencia de diferenciación de brotes organogénicos. Promedio \pm Error estándar (Prom \pm ES), y número de repeticiones (N).

TABLA 2. Nutrient media on frequency of organogenic tissue differentiation .Mean \pm StandardError (Prom \pm ES), and replication number (N).

Medio de diferenciación	N	Frecuencia formación de brotes (Prom \pm ES)
MS	10	80 \pm 4.47
MS1/2	10	75 \pm 5.38
MS+CA	10	74 \pm 5.19

Cultivo ex vitro

Los resultados presentados en este trabajo evidencian que, los tratamientos de inducción afectan significativamente el porcentaje de estacas enraizadas de *Jatropha curcas* L. Los resultados indicaron diferencia significativa entre los tratamientos inductivos, la edad de la planta madre y la posición de la estaca en el brote (p-value: 0.00562). En general las estacas obtenidas de plantas

madres juveniles demostraron un mayor porcentaje de enraizamiento que las estacas adultas. El efecto de la edad de las estacas, en el porcentaje de estacas enraizadas, que se obtuvo en el presente ensayo, corrobora lo publicado por HARTMANN *et al.*, (2002); WELDT CARMONA, (2008); que las estacas herbáceas o semileñosas, por lo general, enraízan con mayor facilidad y rapidez que las estacas leñosas. Observándose, en estacas juveniles, un porcentaje de enraizamiento significativamente mayor (p-value: 0.00631) para estacas provenientes de la posición apical del brote, respecto a las de posición basal. En estacas adultas estas diferencias fueron no significativas, aun cuando la frecuencia de enraizamiento fue mayor en estacas de posición apical. Los tratamientos inductivos sin aplicación de IBA, tanto con agua, como con etanol indujeron un mayor porcentaje de enraizamiento que los tratamientos inductivos con IBA. Las estacas que fueron sometidas al tratamiento con IBA no superaron a las tratadas con el tratamiento control, por lo que se observa que difiere con los resultados obtenidos por NOOR CAMELLIA *et al.* (2009), que expresa que al aumentar las concentraciones de IBA aumenta el porcentaje de enraizamiento. Por otra parte, el mayor porcentaje de inducción a la formación de raíces adventicias sin la aplicación de auxina, se contrapone a lo publicado por BLAZICH (1988) y MESÉN *et al.* (1995), que expresaba que la aplicación de auxinas generalmente aumenta el porcentaje de enraizamiento, y reduce el tiempo de iniciación de raíces. Si se puede corroborar que los niveles endógenos de auxinas son suficientes para sostener la formación de raíces en la estaca, y que la aplicación exógena de IBA pudo haber afectado negativamente la formación de raíces, en las condiciones ensayadas. Resultados publicados por (THETFORD Y BLAZICH, 1995; FRAMPTON *et al.* 1999; y ROCHA Y NIELLA, 2000-2002, 2007 y 2011). Se observaron diferencias no significativas (p-value: 0.05663) para el tratamiento control con etanol (TC1) en estacas de posición apical, obtenidas tanto de plantas madres juveniles como adultas (64±15% y 45±16%, respectivamente). Sin embargo, cuando las estacas de posición apical recibieron el tratamiento control con agua (TC2), demostraron diferencias significativas (p-value: 0.00058) entre las estacas juveniles y adultas (75±15% y 25±12%), respectivamente). El mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo en estacas de posición apical, juveniles, que recibieron tratamiento control con agua (TC2) (75±15%). Respecto a la variable número de raíces primarias, si bien se observaron diferencias significativas entre los tratamientos inductivos, la edad de la planta madre y la posición de la estaca en el brote (p-value: 0.00667), el tratamiento con mayor número de raíces, correspondió a estacas juveniles, de posición apical y tratamiento inductivo con IBA 15000 ppm (11.09±5.1 número de raíces promedio/estaca). Para el resto de los tratamientos en los cuales se observó enraizamiento las diferencias fueron no significativas (p-value: 0.05219) entre ellos.

TABLA 3. Efecto de la edad de la planta madre, posición de la estaca y tratamiento inductivo en el porcentaje de enraizadas (%ENRAIZ) y número de raíces primaria (N°RAICES PRIM.). Promedio ±Error estándar (Prom±ES), y número de repeticiones (N).

TABLA 3. Stock plant age, cutting position and inductive treatment effect on frequency of rooted cuttings (%ENRAIZ), and number of primary roots (N°RAICES PRIM.). Mean±Standard error (Prom±ES), and replication number (N).

Edad	Posición estaca	Tratamiento inductivo	N	%ENRAIZAMIENTO (Prom±ES)	No. RAICES PRIM (Prom±ES)
J	Ap	T1	40	36±15bc	11.09±5.1a
J	Bs	T1	40	0c	0c
J	Ap	T2	40	7±2.3b	8.7±2.3ab
J	Bs	T2	40	0c	0c
J	Ap	TC1	40	64±15ab	4.09±1.28b
J	Bs	TC1	40	20±14ab	3.70±3.21ab
J	Ap	TC2	40	75±15a	2.64±0.97b
J	Bs	TC2	40	30±8.9b	3.09±1.2b
A	Ap	T1	40	0c	0c
A	Bs	T1	40	0c	0c
A	Ap	T2	40	10±8.2b	2.7±1.8ab
A	Bs	T2	40	4±2.4b	0.91±0.91b
A	Ap	TC1	40	45±16ab	1.64±0.61b
A	Bs	TC1	40	18±14b	2.31±0.16b
A	Ap	TC2	40	25±12b	0.91±0.61b
A	Bs	TC2	40	9±9b	0.77±0.63b

J: estacas obtenidas de plantas madres juveniles juvenil.; **A:** estacas obtenidas de plantas madres adulta. **Ap:** correspondiente a la porción apical del brote.; **Bs:** correspondiente a la porción basal de la estaca, situada por debajo de la posición apical. **T1:** inmersión, por 10 segundos, de la base de la estaca en una solución de Ácido Indol Butírico (AIB) 15.000 ppm, disuelto en 70% de etanol; **T2:** inmersión, por 24 horas, de la base de la estaca en una solución acuosa de 150 ppm de IBA; **TC1:** inmersión, por 10 segundos, de la base de la estaca en una solución 70% Etanol sin IBA; **TC2:** Agua sin IBA.

Conclusiones

Cultivo *in vitro*: El tipo de explanto y la combinación de reguladores de crecimiento en los medios inductivos estudiados tuvieron un efecto significativo en la formación de tejido organogénico. Todos los medios de diferenciación estudiados en el sub-cultivo generaron diferenciación de brotes y no mostraron diferencias significativas entre ellos.

Cultivo *ex vitro*: Los resultados del presente estudio demostraron la factibilidad de enraizar estacas apicales obtenidas, tanto de plantas madres juveniles como adultas, tratadas con solución de etanol (TC1) sin auxinas, y que el mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo en estacas de posición apical, juveniles, que recibieron tratamiento control con agua.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Misiones Argentina (SGCyTUNaM- Convocatoria Especial 2007: Desarrollo Sostenible y Energía).

Bibliografía

- BLAZICH, F. A. 1988. Chemicals and formulations used to promote adventitious rooting. In: Davis, TD, Haissig, B E y Sankhla N (eds) *Adventitious Root Formation in Cuttings*, Portland, Oregon. B.E. Dioscorides Press, pp 132-149.
- DEORE, A. y Johnson S. 2008. High-frequency plant regeneration from leaf-disc cultures of *Jatropha curcas* L.: an important biodiesel plant. *Plant Biotechnol Rep.*
- FALASCA, S., Ulberich, A. (2008). Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de deforestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). *Revista Virtual REDESMA*. Julio 2008.
- FRAMPTON, J. Goldfard, B. and Surles, S. 1999. Nursery rooting and growth of loblolly pine cuttings: effects of rooting solutions and full-sib family. *South J. Appl. For.* 23 (2): 108-115.
- HARTMANN, H., Kester, D., Davies, F. y Geneve, R. 2002. *Plant Propagation. Principles and Practices*. New Jersey, Estados Unidos. Prentice Hall. 880p.
- HUETTEMAN, C., J Preece. 1993. Thidiazuron: a potent cytokinin for woody plant tissue cultures. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 33:105-119.
- JHA T.B.; Mukherjee P. y Manjari Datta M. 2007. Somatic embryogenesis in *Jatropha curcas* Linn., and important biofuel plant. *Plant Biotechnology Report* 1:135-140.
- MENG, R.; T.Chen; F. Ce.; y Y Li. 2004. Improving in vitro plant regeneration from leaf and petiole explant of 'Marion' blackberry. *Hort. Sci.* 39:316-320.
- MESÉN, F.; Leakey, R; y Newton A. C. 1995. Propagadores de subirrigación: un sistema simple y económico para la propagación vegetativa de especies forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). *Memorias Del Simposio, Avances en la producción de Semillas Forestales en América Latina*. Editor Técnico Rodolfo Salazar. Managua, Nicaragua.
- MURASHIGE, T. y F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum.* 15:473-497.
- MURALI, K.; P.Patil, y G. Maurya. 2008. Commercially viable process for in vitro mass culture of *Jatropha curcas*. United State Patent Application #20080196121.
- MURTHY, B.; S. Murch; y P.Saxena. 1995. TDZ-induced somatic embryogenesis in geranium cotyledonary cultures. *Plant Cell Rep.* 15:423-426.
- NIELLA, F.; Rocha, P.; Eibl, B.; Radins, M.; Flor, D., Facio, S. y Velazco, S. 2011. Opción para un desarrollo sustentable y eficiente de biocombustibles en la provincia de Misiones: Propagación clonal de variedades locales de *Jatropha curcas*. 1º Encuentro de exposición de proyectos de investigación-UNaMTEC-SGCyT. 13 de abril 2011. UNaM- SGCyT, Posadas, Misiones, p 27-28
- NOOR CAMELLIA, N.A., Thohirah, L.A., N.A.P Abdullah, and Mohd Khidir, O. 2009. Improvement on Rooting Quality of *Jatropha curcas* Using Indole Butyric Acid (IBA), entrada 2009, consultado el 23 de marzo de 2011. URL: <http://www.aensonline.com/rjabs/rjabs/2009/338-343.pdf>.
- ROCHA, P y Niella, F. 2000. Informe técnico: Presentación de avance en técnicas de propagación vegetativa para *Pinus taeda* y *Pinuselliottii x caribaea*. Presentado en: Seminario interno Abril 2000. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. Eldorado, Misiones. Circulación interna 63 p.
- ROCHA, P Y Niella, F. 2002. Efectos de tratamientos inductivos en el enraizamiento de estacas de *Pinuselliottii x caribaea* y *Pinus taeda*. 9na Jornadas Técnicas Forestales. Mayo 15-17, 2002. FCFUNaM-INTA-ME y RNR y T- Eldorado, Misiones-Argentina.
- ROCHA, P Y Niella, F. 2007. Efectos del tratamiento inductivo en el enraizamiento de estacas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, *Myrcarpus frondosus* fr. All. y *Balfourodendron riedelianum* (Engl). *Revista Forestal Yvyraeta* 14; (2007) 41-46
- SUJATHA M., H.P.S. Makkar, and Becker K (2005). Shoot bud proliferation from axillaries nodes and leaf sections of non-toxic *Jatropha curcas* L. *Plant growth regulation* . 47:83-90.
- SHRIVATAVA, S. y Banerjee, M. 2008. In vitro clonal propagation of physic nut (*Jatropha curcas* L). *IJIB*, Vol. 3, No. 1, 73-79,
- THETFORD, M. y Blazich, F. 1995. Comparison of IBA and P-IPB for propagation of Loblolly pine stems cuttings. *SNA Research Conference- Vol. 40: 269-271*
- WELDT CARMONA E. S. 2008. Establecimiento, multiplicación y enraizamiento in vitro de *Rosacina* L. Tesis Lic. Agronomía. Universidad Austral de Chile, Escuela de Agronomía. 62p

MULTIPLICACIÓN *IN VITRO* DE *MYROCARPUS FRONDOSUS* ALLEMÃO (INCIENSO) A PARTIR DEL ESTABLECIMIENTO DE SEMILLAS.

MULTIPLICATION *IN VITRO* OF *MYROCARPUS FRONDOSUS* ALLEMÃO (INCIENSO) FROM THE ESTABLISHMENT SEEDS

Noguera, A. M. ¹; Martínez, M. E. ²; Padilla, C. R. ³; Duarte, P. ⁴

¹ Ms. Lic. en Genética, Profesor adjunto regular, Investigador, Laboratorio Biotecnología Vegetal Facultad de Ciencias Forestales, Bertoni 124, Eldorado, Misiones. E-mail: amnogue@arnet.com.ar

² Ms. IngFtal., Investigador, Laboratorio Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias Forestales (U.Na.M.). Bertoni 124 (3380) Eldorado, Misiones, Argentina. E-mail: micaevelin@yahoo.com.ar

³ Ms. IngFtal., Investigador colaborador, Laboratorio Biotecnología Vegetal FCF.

⁴ Becaria investigadora Laboratorio Biotecnología Vegetal FCF.

Resumen

Myrocarpusfrondosus Allemão (Incienso) es una especie leñosa con aptitudes maderables, la tala selectiva y la pérdida de superficie boscosa a llevado a su disminución y consecuente pérdida de variabilidad genética. La propagación *in vitro* es una herramienta para la conservación de germoplasma y la propagación de árboles selectos. El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar la fase de establecimiento y multiplicación *in vitro* de *Myrocarpusfrondosus*. Se ensayaron tratamientos de desinfección en semillas para su establecimiento utilizando, hipoclorito de sodio en distintas concentraciones y tiempo de exposición. En la multiplicación de ápices y segmentos nodales de plántulas *in vitro* se estudiaron diferentes concentraciones de 6-Bencilaminopurina (0,1; 0,25; 0,5 y 1 mg/L) y ácido naftalenacético (0,1 mg/L). Se obtuvo en el establecimiento de semillas un 6,5 % de germinación con 3 % de hipoclorito de sodio. La mejor respuesta en la multiplicación se logró con 1 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA.

Palabras Claves: micropropagación, Fabaceae.

Summary

Myrocarpus frondosus Allemão (Incienso) is a species with excellent qualities for timber. Its selective felling combined with the loss of woodland as a result of advancing agriculture areas has reduced its presence and as a consequence the loss of genetic variability. The micropropagation of vegetal species offers an important tool for conserving germoplasm and for propagating selected trees. The objective of the present research work consisted in developing a protocol for establishment and multiplication of *M. frondosus*. Different disinfection treatments for seeds were tested with sodium hypochlorite solution at different concentrations and exposition times.

In the multiplication phase, different treatments were tested with 6-Bencilaminopurina (0,1; 0,25; 0,5 y 1 mg/L) y Naftalenacetic acid (0,1 mg/L). Was obtained for establishment an 6,5 % of germination with a sodium hypochlorite solution at 3%. The best answer in the multiplication was obtained with 1 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA.

Key words: micropropagation, Fabaceae.

Introducción

Myrocarpus frondosus Allemão (FABACEAE) conocida como Incienso, especie leñosa de gran porte. Habita bosques semi-húmedos y las franjas de transición entre los bosques altos y los bosques bajos. Posee flores pequeñas agrupadas en una inflorescencias en forma de racimo. Su fruto es una sámara, con presencia de bálsamo y una a dos semillas. Posee una madera de alto valor económico tanto en el mercado nacional como internacional. Es utilizada en mueblería de madera dura, pesada, diseño vetado suave, brillo mediano, textura mediana y de grano derecho u oblicuo, presenta resistencia mecánica y buena durabilidad (Gartland, 1993). Además es una especie melífera y de su corteza se extraen alcaloides, para la industria de la perfumería y tinturas.

El principal problema que presenta *Myrocarpus frondosus*, es la poca disponibilidad de semillas aptas para la siembra, la cantidad de árboles por hectárea es muy baja y limita la disponibilidad de semillas. Por otro lado las mismas son frágiles, y preferentemente hay que cosecharlas del árbol, ya que cuando caen los frutos se pudren rápidamente, debido a la humedad del bosque y a la cobertura tan delicada que posee la semilla, así mismo, las semillas de Incienso son recalcitrantes y de baja viabilidad (Corvalho, 1994, y Eibl, 2002) por lo tanto la conservación de los frutos, no debe exceder los tres meses para garantizar una cierta viabilidad (Lorenzi, 1999). Es también frecuente la presencia de contaminante endógenos, en el interior de los tejidos (Teixeira, 1993)

Desde esta problemática, se plantea que las técnicas biotecnológicas son una de las herramientas para la conservación y multiplicación de esta especie.

El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales tiene una aplicación práctica en la clonación, conservación, y manipulación del material vegetal (Jiménez, 1998). Esta técnica permite la propagación de árboles y proporciona una ventaja económica importante a la industria forestal; permitiendo la propagación masiva de plantas iguales (clones) provenientes de árboles selectos, garantizando de esta manera la genética del material vegetal. Además permite reducir los largos períodos de maduración, la baja viabilidad de las semillas y la dificultad que presentan algunos individuos de propagarse por métodos tradicionales.

Según investigaciones en especies leñosas un adecuado balance de auxinas y citoquininas es indispensable para el éxito del cultivo *in vitro* y la formación de plantas a partir de los diferentes tipos de explante, el cual está determinado por las concentraciones endógenas de estos reguladores de crecimiento presentes en el explante (Jiménez, 1998). Se ha descripto para muchas especies leñosas la necesidad de suplementar al medio de cultivo MS con 6-BAP (6-Bencilaminopurina) o BA (benciladenina) como ser: Guevara-Berger et al. (1992) en investigaciones realizadas con yemas apicales y entrenudo de plantas jóvenes de *Cedrela tonduzii* con BA (0,5 mg/L); Rodríguez et al. (2003) lograron buenos niveles de multiplicación en *C. odorata* (cedro) y *Swietenia macrophylla* X *Swietenia mahogani* (Caoba híbrida) con la adición de 0,50 mg/L 6-BAP en el medio de cultivo.

Ante la necesidad de rescatar especies forestales nativas de la selva misionera, que pueden estar bajo amenaza de extinción, que presentan dificultades para propagarse y poseen valor económico, es posible utilizar técnicas de la biotecnología, como la micropropagación *in vitro*.

El objetivo del presente trabajo fue; el desarrollo de una metodología para la germinación de semillas *in vitro* de *Myrocarpus frondosus*, y evaluar medios de cultivos para su multiplicación *in vitro* que permitan generar una técnica para, mejorar su producción, rescate y conservación.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Propagación Vegetativa de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Eldorado, Misiones, durante el período comprendido entre diciembre de 2009 y abril 2011.

El material vegetal utilizado para el estudio fue, semillas provenientes de árboles semilleros de Incienso, de origen y procedencia Guaraní, Misiones, cosecha 2009. Las mismas fueron tratadas de la siguiente manera: se realiza el corte de las alas del fruto, luego se efectúa un enjuague en hipoclorito de sodio al 0,5 % (en condiciones de laboratorio), y en cabina de flujo laminar se realiza escarificación y desinfección de las mismas, con alcohol al 70 % durante 60 seg., seguido de una solución de hipoclorito de sodio al 1% y 3 % durante 15 min en agitación, realizando un triple enjuague con agua destilada estéril. Posteriormente se extrae la cubierta seminal y se procede a una segunda desinfección con alcohol al 70 % por 30 seg, seguido de una solución al 1 % de hipoclorito de sodio durante 10 min., con triple enjuague en agua destilada estéril.

En la fase de multiplicación los explantes evaluados fueron, ápices caulinares y segmento uninodal desde 1 cm. conteniendo al menos una yema, provenientes de plántulas germinados *in vitro*.

El medio de cultivo basal empleado fue Murashige y Skoog (MS) 1962, suplementado con 2 % de sacarosa, en estado semisólido gelificado con 0,8 % de agar. El pH del medio de cultivo fue de 5,8 y se esterilizo en autoclave a 121°C de temperatura y 1,2 kg/cm² de presión durante 20 minutos.

Las condiciones de cultivo son 27 °C +/- 2 °C, fotoperiodo de 16 horas luz fría.

Durante la multiplicación se evaluaron los siguientes reguladores de crecimiento: Ácido naftalenacético (ANA), 6-bencilaminopurina (6-BAP) y se realizaron sub-cultivos cada 45 días, para determinar el coeficiente de multiplicación.

En los subcultivos 1, 2 y 3 los explantes se multiplicaron en medio MS completo y suplementado con 1 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA, 2 % sacarosa y 0,8 % agar. A partir del cuarto subcultivo se evaluaron los siguientes tratamientos: trat.1: 0,1 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA; trat.2: 0,25 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA; trat. 3: 0,5 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA; y trat. 4:1 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA.

El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado, con una distribución factorial de los tratamientos. La unidad experimental estuvo constituida por cada uno de los explantes evaluados. La variación entre los tratamientos fue analizada aplicando análisis de varianza (ANOVA). Cuando el ANOVA indicó diferencias entre las medias de los tratamientos, se aplicó el Test Duncan para determinar si los tratamientos presentaron diferencias significativas, con $\alpha = 0.05$, para las variables evaluadas.

Resultados y discusión

Establecimiento a partir de semillas de *M. frondosus*

En el tratamiento de desinfección de semillas con 1 % de hipoclorito de sodio, el porcentaje de desinfección fue del 36 % de las semillas tratadas y el 64 % restante se contaminó con hongos. En las semillas tratadas con 3 % de hipoclorito de sodio, se logró un 6,5 % de semillas germinadas *in vitro* (figura 1); si bien un 12,4 % de las mismas presentaron contaminación con hongos, porcentaje menor al tratamiento 1, el 80,4 % de semillas de este tratamiento mostraron contaminación con bacterias endógenas (gráfico 1).

Las bacterias endógenas no se observaron en el tratamiento 1 debido a la alta tasa de contaminación fúngica que se presentó.

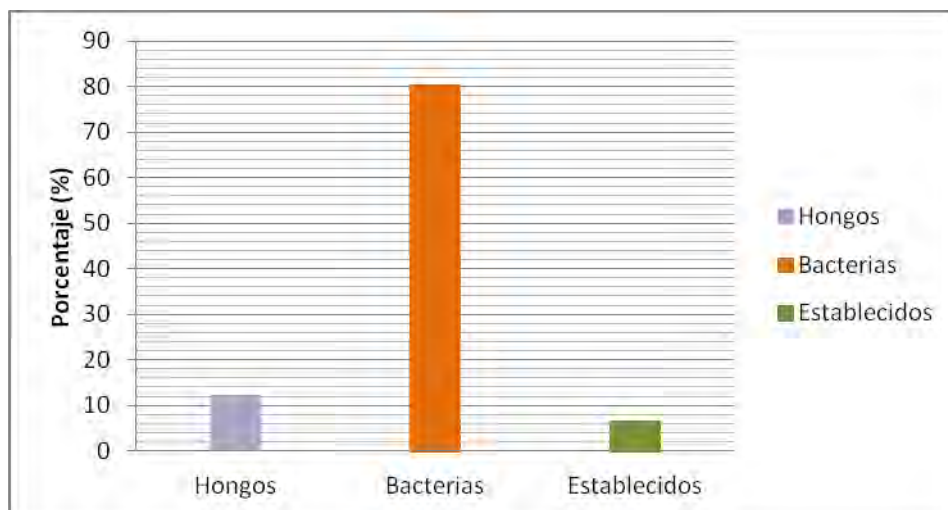


Gráfico 1. Resultados del establecimiento de semillas de Incienso tratadas con una solución de hipoclorito de sodio al 3 %.

Graphic 1. Results of establishment the seeds of Incienso with 3 % hypochlorite solution.



Figura 1. Plántulas de *M. frondosus* germinadas *in vitro*, a los 60 días de establecidas.
Figure 1. *In vitro* plants of *M. frondosus* developed, after 60 days of the establishment.

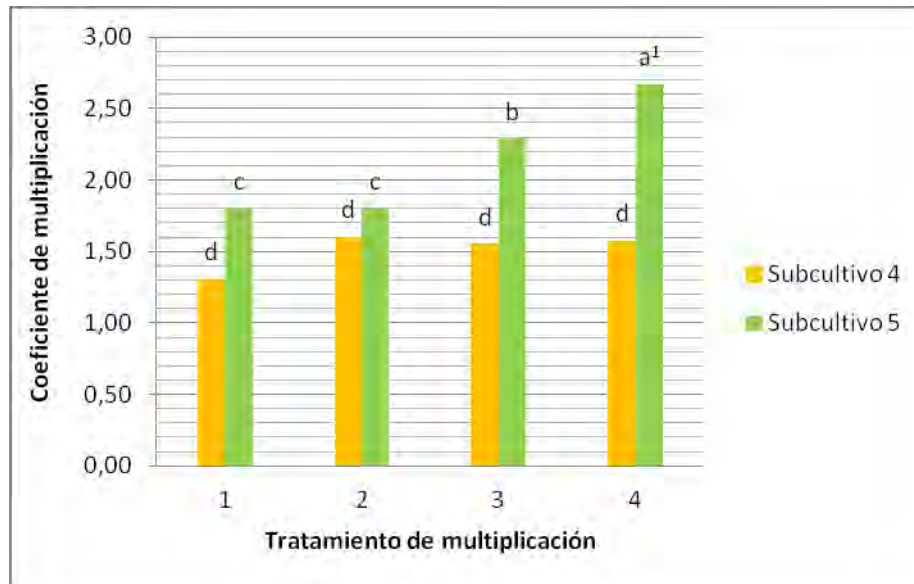
Multiplicación a partir de plántulas *in vitro* de *M. frondosus*

A partir de las plántulas obtenidas *in vitro* se realizaron los ensayos de multiplicación con los siguientes tratamientos de medios de cultivo (tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos de medios de cultivo ensayados
Table 1. Treatments of culture media tested.

Tratamiento	Reguladores de crecimiento	
	6-BAP (mg/L)	ANA (mg/L)
1	0,1	0,1
2	0,25	0,1
3	0,5	0,1
4	1	0,1

Tras efectuar el análisis de varianza (ANOVA) para la variable de, coeficiente de multiplicación, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en el subcultivo 4. En cambio, en el subcultivo 5 se observan diferencias significativas entre los tratamientos; los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento 4 (1 mg/L6-BAP y 0,1 mg/L ANA) con un coeficiente de multiplicación de 2,66, seguido del tratamiento 3 (0,5 mg/L6-BAP y 0,1 mg/L ANA) con un coeficientes de 2,29 (gráfico 2).



¹ Tratamientos identificados con letras iguales, en el mismo subcultivo, indican que no son significativamente distintos dado $\alpha=0.05$ según comparación múltiple de medias de Duncan, para la variable Coeficiente de multiplicación.

Gráfico 2. Coeficiente de multiplicación de brotes de *M. frondosus*, desarrollados a partir de ápices y segmentos nodales, con distintas concentraciones y combinaciones de reguladores de crecimiento en el medio decultivo durante el cuarto y quinto subcultivo, a los 45 días de cultivo.

Graphic 2. *M. frondosus* nodal segment multiplication rate using different growth regulator concentration and combination during the fourth and fifth subculture.

Como se ha descripto en la bibliografía para muchas especies leñosas, y como refiere Mroginski *et al.* (2004) se observó que el regulador de crecimiento 6-BAP promueve significativamente la proliferación y diferenciación de brotes (figura 2). Además, se observó que los brotes obtenidos en los medios suplementados con las mayores dosis de 6-BAP (tratamiento 3 y 4) presentaban mejores condiciones en cuanto a color de hojas y desarrollo de los entrenudos.



Figura 2. Brotes de *M. frondosus* desarrollados a partir de un segmento nodal durante el tercer sub-cultivo, con 40 días.

Figure 2. Buds of *M. frondosus* developed from a nodal segment during the third subculture.

Conclusión

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se arribaron a las siguientes conclusiones: el mayor porcentaje de explantes de Incienso se logra a partir de la germinación de semillas desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 3 % durante 15 minutos. El mayor número de brotes en la fase de multiplicación *in vitro* se obtuvo con medio de cultivo MS completo suplementado con 1 mg/L de 6-BAP y 0,1 mg/L ANA.

Agradecimientos

Banco Regional de Semillas de la Facultad de Ciencias Forestales, UNaM por el material de semillas facilitado

Bibliografía

- Corvalho P.E.R., 1982. Resultados experimentais de especies madeireiras nativas no Estado do Parana. En Anais do Congresso Nacional sobre essencias nativas. Silvicultura em Sao Paulo. Vol. 16 A. parte 2. Editorial especial Revista Do Instituto Florestal Sao Paulo Brasil. Pp. 747 y 765.
- Eibl, B.; Bohren A., Mendez R., Sosa G., Di Stasi M., 2002, Pecom Forestal SA/FCF, UNaM. Especies forestales nativas de la selva paranaense, Fichas de divulgación: Ficha 19 de 30 y anexos.
- Gartland, H. M.; Bohren, A. V.; Grance L. A.; Ficha técnica Árboles de Misiones: *Myrocarpus frondosus* Allem. Fr. Revista Yvyrareta N° 4, Año 4. pp 24-25. Septiembre de 1993.
- Guevara-Berger, E.; Hidalgo-Dittel, N.; Murillo-Gamboa, O. 1992. Cultivo *in vitro* de cedro dulce (*Cedrela tonduzii*); Organization for Tropical Studies; Revista Tecnología en Marcha. v. 11, n° 3, p. 10-16.
- Jiménez González, E. 1998. Generalidades del Cultivo *in vitro*; Propagación y mejora de plantas por Biotecnología; Pérez Ponce J. (ed.); p. 13-24.
- Lorenzi, H.; 1999, Arvoreis Brasileiras, Manual de Identificación y Cultivo de Plantas Arbóreas del Brasil, Vol.1, 2° Edición; Instituto Plantarum De Estudos Da Flora LTDA.
- Mroginski, L.; Sansberro, P.; Flaschland, E. 2004. Establecimiento de cultivos de tejidos vegetales. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal. Echenique, V.; Rubinstein, C. y Mroginski L. (eds); Ediciones INTA, RA.; II 2:35-42.
- Murashige T. y Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue. PhysPlant. 15: 473-493.
- Rodríguez, R.; Daquinta, M.; Capote, Iris; Pina, D.; Lezcano, Y. y González-Olmedo, J. L. 2003. Nuevos aportes a la micropropagación de *Swietenia macrophylla* X *Swietenia mahogany* (caoba híbrida) y *Cedrela odorata* (cedro); v. 24, n° 3.
- Teixeira J.B., 1993. Limitações aos processos de cultivo *in vitro* de especies lenhosas EMBRAPA. Recursos genéticos e Biotecnología. Brasília, Brasil.

GERMINAÇÃO E DESINFESTAÇÃO SUPERFICIAL DE SEMENTES DE *Mimosa scabrella* Benth. PARA O CULTIVO IN VITRO

GERMINATION AND SUPERFICIAL DISINFESTATION OF *Mimosa scabrella* Benth. SEEDS FOR THE IN VITRO CULTIVATION

Ril, F.L.¹; Felipe, D.¹; Mantovani, N.²

1. Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Universitário de Frederico Westphalen. E-mail: fernandaril@yahoo.com.br; dioneia.felippe@hotmail.com.

2. Engenheiro Florestal, Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS), Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar a germinabilidade de um lote de sementes de *Mimosa scabrella* Benth. em gerbox e *in vitro* e determinar uma metodologia para desinfestação superficial das sementes visando obter explantes axênicos para o cultivo *in vitro*. Para avaliar a germinação em gerbox, foram utilizados 8 repetições e 40 sementes por repetição. As avaliações foram realizadas a cada 5 dias por um período de 15 dias. Para a desinfestação e germinação *in vitro* foram testados 4 tratamentos (concentrações de hipoclorito de sódio 0, 20, 30 e 40%), em 5 repetições e 7 tubos de ensaio por repetição. Aos 28 dias foi avaliada a porcentagem de germinação, desinfestação e contaminação por fungos e/ou bactérias. O hipoclorito de sódio, independente da concentração, teve efeito positivo na germinação e na desinfestação *in vitro* das sementes, possibilitando a obtenção de plantas livres de contaminação e explantes axênicos para cultivo *in vitro*.

Palavras-chave: contaminação; micropropagação; hipoclorito de sódio.

Summary

The objective of this study was to investigate the germination of a seed lot of *Mimosa scabrella* Benth. in gerbox and *in vitro* and determine a methodology for surface disinfection of seeds to obtain axenic explants for *in vitro* culture. To assess the germination in gerbox, were used 8 replicates and 40 seeds per replicate. The evaluations were performed every 5 days for a period of 15 days. For the disinfection and *in vitro* germination 4 treatments were tested (concentrations of sodium hypochlorite 0, 20, 30 and 40%) in 5 replications and 7 tubes test per replicate. At 28 days was evaluated the percentage of germination, disinfection and fungal or bacterial contamination. Sodium hypochlorite, regardless of concentration, showed a positive effect on the germination and disinfection of seeds *in vitro*, allowing the production of plants free from contamination and axenic explants for the *in vitro* culture.

Keywords: contamination; micropropagation; sodium hypochlorite.

Introdução

A família Leguminosae é uma das mais numerosas entre as Angiospermas Dicotiledôneas, dividida em quatro subfamílias: Caesalpinioideae, Cercideae, Faboideae e Mimosoideae. Na subfamília Mimosoideae, destaca-se a *Mimosa scabrella* Benth., conhecida por bracatinga, nativa do sul do Brasil, ocorre desde Minas Gerais até a borda da Serra Geral,

no Rio Grande do Sul, caracterizando o planalto sul brasileiro e a Floresta Ombrófila Mista, ocorrendo também na Floresta Atlântica e Floresta Estacional do Alto Uruguai, conforme Marchiori (2007).

A bracatinga apresenta interesse do ponto de vista econômico, para lenha e confecção de móveis e, ecológico, na recuperação de áreas degradadas e em consórcios agroflorestais, conforme Rosa (2009). Além disso, projeta-se no mercado nacional de madeira, principalmente como matéria-prima na fabricação de chapas de aglomerados, como fonte energética (BIANCHETTI, 1981a) e como escoras na construção civil (CARPANEZZI, 1988).

A propagação de mudas de bracatinga, para fins comerciais, é feita a partir de sementes, muitas vezes de procedência desconhecida e de qualidades genética e fisiológica inferior. Segundo Shimizu (1987), a escolha do material genético é fundamental para se conseguir a maior produtividade e tomar os empreendimentos mais rentáveis.

Com isso, surge a necessidade de se obter indivíduos com boas características genéticas e silviculturais para que seja possível a produção de madeira em grande escala e com aumento dos rendimentos relacionados ao incremento volumétrico.

Uma das técnicas que podem ser utilizadas é a propagação vegetativa através de micropropagação. Nesta, pode-se selecionar matrizes superiores, das quais são coletadas sementes para cultivo sob condições assépticas *in vitro*, constituindo a fonte de explantes para a clonagem.

As técnicas de cultivo *in vitro* constituem um método eficiente para a multiplicação de plantas selecionadas em larga escala e em curto espaço de tempo. No entanto, a micropropagação de espécies lenhosas depara-se com alguns problemas, entre eles, os das contaminações das culturas por diferentes microrganismos, com os consequentes prejuízos econômicos. Parte dessas contaminações resulta de falhas no sistema de desinfestação ou na manipulação do material vegetal (FERRADOR E MARQUES, 2008).

Diversas substâncias com ação germicida são utilizadas para a assepsia de explantes, sendo o etanol e o hipoclorito de sódio ou de cálcio os produtos mais eficazes (GRATTAPAGLIA e MACHADO, 1998).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a germinabilidade de um lote de sementes em gerbox e *in vitro*, bem como determinar uma metodologia de desinfestação superficial de sementes de *Mimosa scabrella* Benth. para o controle de fungos e de bactérias na germinação *in vitro*.

Material e Métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Genético Florestal do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, campus do Centro de Educação Superior Norte – RS, em Frederico Westphalen.

As sementes de *Mimosa scabrella* Benth. foram fornecidas pela Associação dos Fumicultores do Brasil (AFUBRA), com sede em Santa Cruz do Sul no Rio Grande do Sul, provindas de uma área de coleta de sementes.

Inicialmente as sementes foram selecionadas, colocando-as em recipiente com água. Aquelas que boiaram foram descartadas, utilizando-se para o experimento somente as que permaneceram submersas.

O primeiro experimento foi o teste de germinação das sementes realizado em gerbox, com papel absorvente umedecido e mantido em germinador de câmara vertical tipo B.O.D., à temperatura de 25°C.

Após procedeu-se a quebra de dormência, através da imersão em água quente (não fervente) até esta atingir temperatura ambiente.

Foram utilizadas 8 repetições (1 repetição por gerbox) com 40 sementes por repetição. As avaliações da porcentagem de sementes germinadas foram realizadas a cada 5 dias, durante 15 dias e os resultados comparados com a germinabilidade citada na literatura.

O segundo experimento foi o teste de desinfestação superficial e de germinação *in vitro* das sementes. As culturas foram mantidas em sala de crescimento sob controle de temperatura a 25°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) e fotoperíodo de 16 horas sob intensidade luminosa de aproximadamente 2000 lux, fornecida por lâmpadas fluorescentes branca-frias. Por um período inicial de sete dias as sementes depois de inoculadas foram mantidas no escuro, nas mesmas condições de temperatura.

Inicialmente as sementes foram selecionadas através do mesmo procedimento utilizado para o teste de germinação. Para controle da assepsia, os procedimentos foram realizados em câmara de fluxo laminar.

Após, as sementes foram imersas em álcool 70% por 1 minuto, e na sequência em água quente (não fervente) até atingir temperatura ambiente, visando à quebra da dormência das mesmas. Para a desinfestação foram testadas diferentes concentrações de hipoclorito de sódio (0, 20, 30 e 40%), com pH ajustado para 6,5, sendo as sementes imersas durante 5 minutos nas diferentes soluções. Após esses procedimentos, as sementes foram lavadas 3 vezes com água destilada e autoclavada para remoção dos resíduos dos agentes desinfestantes.

A inoculação foi realizada em tubos de ensaio, contendo cerca de 10ml de meio básico MS (MURASHIGE e SKOOG, 1962) acrescido de 30gL^{-1} de sacarose e 6gL^{-1} de ágar com pH ajustado para 5,8 antes da autoclavagem.

O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (concentração de hipoclorito), 5 repetições e 7 tubos por repetição (cada um contendo uma semente). Aos 28 dias foi avaliada a porcentagem de germinação, desinfestação e contaminação por fungos e/ou bactérias.

Resultados e Discussão

No teste de germinação realizado em gerbox, verificou-se uma alta porcentagem de sementes germinadas nos primeiros cinco dias de avaliação, atingindo o ápice aos dez dias (Tabela 01). Após dez dias não foi verificada germinação de sementes.

Tabela 01: Porcentagem de sementes germinadas de *Mimosa scabrella* Benth em função dos períodos de avaliação.

Table 01: Percentage of germinated seeds of *Mimosa scabrella* Benth according to the evaluation periods

Período (dias)	Sementes germinadas (%)
5	96,60
10	97,52
15	97,52

Bianchetti (1981a) verificou que sementes de bracinga oriundas de Colombo-PR, imersas em água a 90°C e mantidas em repouso nessa água em resfriamento por 18 horas, apresentaram porcentagem de germinação de 78,8%. Rosa (2009) utilizando sementes de bracinga oriundas de Itaara-RS, e empregando o tratamento com imersão das sementes em água quente (80°C) por 5 minutos, verificou 65% de germinação.

Bianchetti (1981b) afirma que com o método de imersão em água quente, os melhores resultados de germinação, de até 85,2%, são conseguidos com a imersão das sementes em

água quente à temperatura entre 70 e 96°C, deixando-as em repouso nesta água, sem o aquecimento, por 18 horas.

Barazetti e Scoti (2010) avaliaram a germinação de sementes de *Mimosa scabrella* oriundas de São Domingos-SC, após testarem tratamentos com água quente a 80°C por 18 horas e diferentes tipos de substratos e concluíram que, independentemente do tipo de substrato, a imersão das sementes em água quente a 80°C, resultou em grande número de sementes mortas, podendo esse tipo de tratamento afetar o embrião da semente.

Assim, verifica-se que a porcentagem de sementes germinadas do presente experimento encontra-se superior à citada na literatura. Esse fato deve-se ao tratamento empregado para a superação da dormência, bem como a procedência das sementes. Fonseca (1982) apud Sturion (1984) concluiu que a eficiência do método utilizado para quebra de dormência pode variar com a procedência. Em seu estudo com *Mimosa Azabfizza*, obteve para a procedência de Curitiba-PR, 69,5% de germinação através da imersão das sementes em água a 60°C e 41,5% em água a 90°C. Além disso, afirma que a possibilidade de variação na porcentagem de germinação entre as procedências seja devido a uma possível diferenciação das mesmas quanto ao grau de dormência das sementes.

O mesmo autor analisou seis procedências de *Mimosa Azabfizza*, e verificou que a porcentagem média de sementes germinadas de cada procedência aumentou de maneira contínua com o acréscimo da latitude, sendo menor para a procedência de Jaguariaiva-PR (41,3%) e maior para a procedência de Lages-SC (78,9%).

Apesar da elevada germinabilidade das sementes, verificada neste trabalho, houve intensa contaminação das plântulas por fungos e bactérias, fato que inviabilizaria os trabalhos subsequentes de cultivo *in vitro*, justificando a necessidade de um processo eficiente de desinfestação das sementes.

No teste de germinação *in vitro* das sementes de bracatinga, verificou-se que a porcentagem de germinação de sementes não tratadas com o hipoclorito (testemunha) foi inferior quando comparada a germinação em gerbox, indicando de certa forma que a condição *in vitro* afetou negativamente a germinação. Porém, o hipoclorito de sódio, independentemente da concentração utilizada, contribuiu para a germinação das sementes. A porcentagem de germinação foi de 100% quando utilizou-se a concentração de 40% de hipoclorito de sódio (Figura 1). Conforme Rocha (2005), o hipoclorito de sódio é um potente oxidante e sua ação pode ser resultante de modificações nas propriedades das membranas celulares do tegumento ou no fornecimento de oxigênio adicional para a semente, aumentando, dessa forma, a porcentagem de germinação.

Rosa (2009) verificou em seu estudo que, para a bracatinga, a desinfestação com hipoclorito de sódio a 2%, durante 10 minutos, resultou em mais de 65% de sementes germinadas, diferindo significativamente dos valores observados com os tempos de exposição de 5 e de 15 minutos. Segundo este autor, a exposição por 5 minutos parece ter sido insuficiente para ter efeito na germinação e o período de 15 minutos, provavelmente excessivo, provocando danos às sementes. Já no presente estudo, as concentrações elevadas de hipoclorito contribuíram para a germinação das sementes.

Em estudo realizado por Corder e Borges (1999), sementes de acácia-negra (*Acacia mearnsii*) tratadas com hipoclorito de sódio a 10% por 10 minutos e álcool a 70% por 40 segundos apresentaram 100% de germinação.

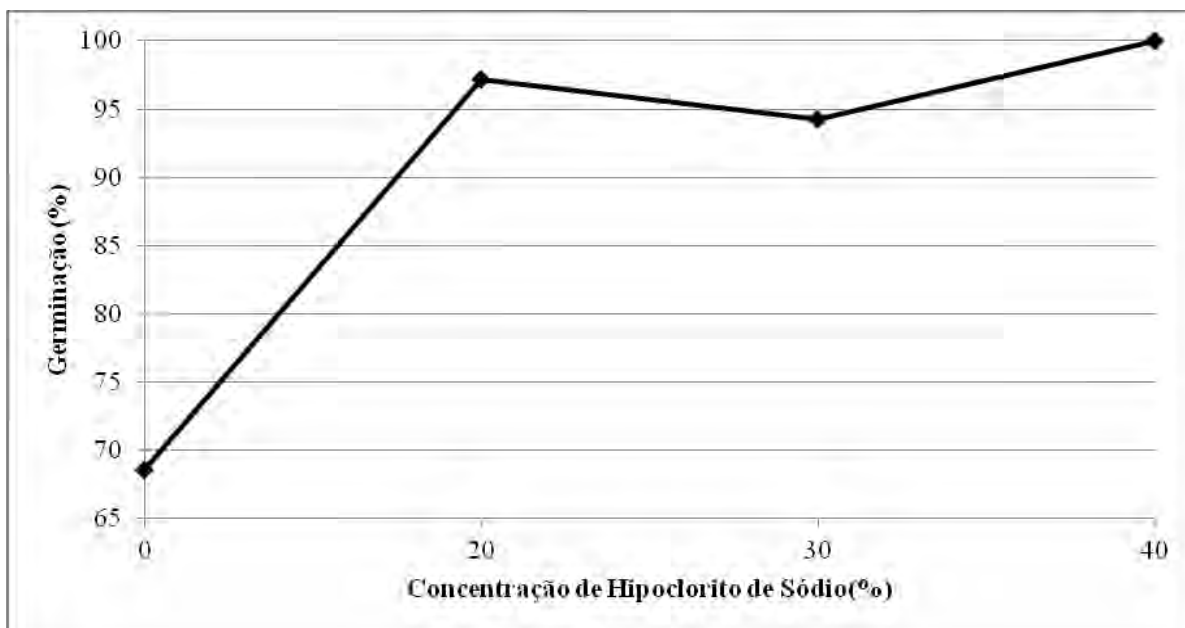


Figura 1: Germinação *in vitro* de sementes de *Mimosa scabrella* Benth. em resposta a diferentes concentrações de hipoclorito de sódio

Figure 1: *In vitro* seeds germination of *Mimosa scabrella* Benth. in response to different concentrations of sodium hypochlorite

Em relação ao processo de desinfestação *in vitro* das sementes, verificou-se que para a eliminação de fungos, a imersão das sementes em álcool 70% durante 1 minuto e ainda, a água quente utilizada para a quebra de dormência das sementes, dispensam o uso do hipoclorito. No entanto, esse procedimento não elimina por completo as bactérias (Figura 2).

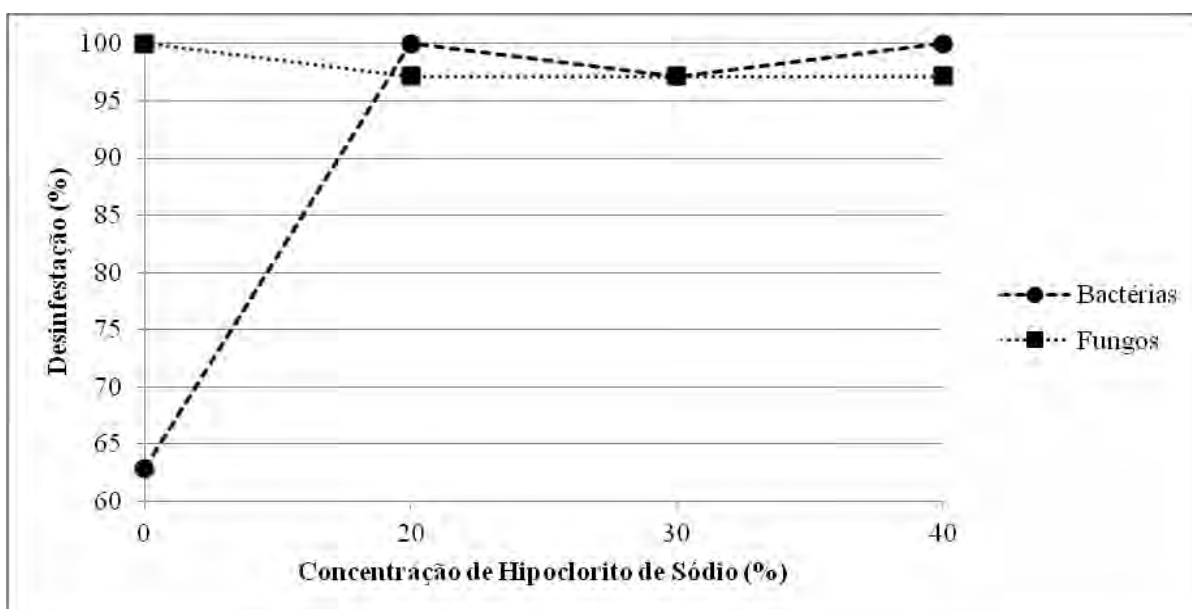


Figura 2: Desinfestação de sementes de *Mimosa scabrella* Benth. em resposta a diferentes concentrações de hipoclorito de sódio

Figure 2: *In vitro* seeds disinfection of *Mimosa scabrella* Benth. in response to different concentrations of sodium hypochlorite

Já em relação à desinfestação de bactérias das sementes, verificou-se que o hipoclorito de sódio, independentemente da concentração utilizada, foi altamente eficiente na eliminação destes organismos contaminantes. A redução do pH para 6,5 aumenta a eficiência na desinfestação por transformar a solução de hipoclorito em solução de ácido hipocloroso (HOCl), que tem sua ação potencializada à medida que a solução é acidificada (MANTOVANI, 2007). A imersão em álcool 70% também pode ter contribuído para a desinfestação.

Segundo Schottz et al. (2007), a desinfestação de sementes de mogno (*Swietenia macrophylla* King), para germinação *in vitro*, pode ser efetuada pela imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2% durante 10 minutos.

A desinfestação de sementes de louro-pardo para a obtenção de plântulas em condições assépticas foi realizada pela imersão em solução contendo 2% ou 5% de hipoclorito de sódio durante 0, 5, 10, 15 ou 20 minutos (FICK, 2007).

Segundo Rosa (2009), a duração do tratamento é um ponto crítico no estabelecimento de sementes para germinação *in vitro*, uma vez que os tratamentos de assepsia podem ser ineficientes ou danosos, quando muito suaves ou muito agressivos, respectivamente.

Conclusão

Conclui-se que o hipoclorito de sódio nas concentrações de 20%, 30% ou 40% possibilita a desinfestação eficiente de sementes de *Mimosa scabrella* Benth. e a obtenção de explantes axênicos para o cultivo *in vitro* da espécie.

Referências Bibliográficas

- BARAZETTI, V. M.; SCCOTI, M. S. V. Quebra de dormência e tipos de substrato para avaliação da qualidade fisiológica de um lote de sementes de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). **Unoesc & Ciência – ACET**. Joaçaba, v. 1, n. 1, p. 69-76, jan./jun. 2010.
- BIANCHETTI, A. **Comparação de tratamentos para superar a dormência de sementes de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham)**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 2, p. 57-68, Jun. 1981a.
- BIANCHETTI, A. **Métodos para superar a dormência de sementes de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.)**. Curitiba, EMBRAPA/URPFCS, 1981b. (Circular Técnica, 4).
- CARPANEZZI, A. A. **Manual Técnico da Bracatinga**. Colombo: Embrapa – CNPF, 1988. 70p. (Documentos, 20).
- CORDER, M. P. M.; BORGES JR., N. Desinfestação e quebra de dormência de sementes de *Acácia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 2, p. 1-7, 1999.
- CARPANEZZI, A.A.; PAGANO, S.N.; BAGGIO, A.J. Banco de sementes de bracatinga em povoamentos do sistema agroflorestal tradicional de cultivo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.35, p.3-19, 1997.
- FERRADOR, S.; MARQUES, G. **Contaminações Endógenas na Micropropagação de *Castanea sativa* Mill**. Disponível em: <<http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T3-12.pdf>>. Acesso em: nov. de 2008.
- FICK, T. A. **Estabelecimento *in vitro* e propagação de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrabida ex Steudel**. 2007. 61f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.
- GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Orgs.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: Embrapa – SPI: Embrapa – CNPH, 1998. v.1, p. 183-260.
- MANTOVANI, N. C. **Propagação vegetativa e cultivo *in vitro* de *Bixa orellana* L.E. e *Ginkgo biloba* L**. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2007.
- MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Angiospermas: leguminosas**. 2. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2007.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, n.1, p. 437-496, 1962.
- OLIVEIRA, L. M.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, M. L. M. Avaliação de métodos para quebra de dormência e para desinfestação de sementes de canafistula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.5, p. 597- 603, 2003.
- ROCHA, S. C. **Micropropagação da canjarana (*Cabralea canjerana*)**. 74f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.
- ROSA, F. C. **Superação da dormência de sementes e cultivo *In vitro* de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham benth.)**. 2009. 49 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

- SCHOTTZ, E. S.; FILHO, A. N. K. TRACZ, A. L. KOEHLER H. RIBAS, L. L. F. QUOIRIN, M. *In vitro* Multiplication of *swietenia macrophylla* KING (MELIACEAE) from Juvenile Shoots. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 109-117, 2007.
- SHIMIZU, J. Y. Escolha de fontes de semente de bracatinga para reflorestamentos na região de Colombo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 15, p.49-53. 1987.
- STURION, J. A. Influência da procedência e do tamanho das sementes de *Mimosa scabrella* Benth. na sobrevivência e crescimento de mudas no viveiro e após o plantio. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal). Curitiba, 1984.

EVALUACIÓN GENÉTICA DE ALTURA Y DIÁMETRO EN UNA POBLACIÓN DE MEJORAMIENTO DE 2º GENERACIÓN *Pinus elliottii* ENGELM. VAR. *elliottii*
GENETIC EVALUATION OF HEIGHT AND DIAMETER IN 2º GENERATION A BREEDING POPULATION OF *Pinus elliottii* ENGELM. VAR. *elliottii*

Rodríguez, G. H. ¹; López, C. R. ²; Schenone, R. A. ³

¹ INTA E.E.A. Montecarlo, Av. El Libertador 2472 (3384) Montecarlo, Misiones, Argentina. ghrodriguez@montecarlo.inta.gov.ar

² Cátedra de Mejoramiento Forestal, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. carlos@unse.edu.ar

³ Forestal Bosques del Plata. CMPC. rschenone@cmpe.com.ar

Resumen

Pinus elliottii es una de las principales especies del género *Pinus* cultivada en el noreste argentino. Para comprobar su capacidad de adaptación a los diferentes ambientes de implantación y mejorar sus características de crecimiento en volumen fueron plantadas 210 familias de progenies de polinización abierta correspondientes a 22 procedencias. Los ensayos fueron establecidos en 5 sitios del noreste argentino, conforme a un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con 15 a 20 repeticiones y parcelas de una planta. Los rasgos evaluados fueron diámetro a 1,30 m y altura total medidos al 7º año. Los componentes de la varianza para cada rasgo fueron estimados por Máxima Verosimilitud Restringida (REML) y los valores de mejora fueron predichos usando el mejor predictor lineal insesgado (BLUP). Los valores genéticos de los progenitores, ajustados a los efectos fijos, fueron estimados mediante un modelo mixto familiar. La interacción de las familias con el ambiente fue evaluada mediante la correlación Tipo B. Las estimaciones de parámetros genéticos mostraron altos valores de heredabilidad familiar en diámetro (entre 0,29 y 0,41) y en altura (entre 0,16 y 0,25) según los sitios. La correlación genética entre los rasgos es muy alta y de signo positivo. Esto permite la mejora conjunta de ambos rasgos. Los resultados no revelaron interacciones significativas de las familias con el ambiente en diámetro.

Palabras clave: *Pinus elliottii*, familias de polinización abierta, parámetros genéticos, interacción genotipo-ambiente.

Summary

Pinus elliottii is one of the main species of genus *Pinus* planted in the northeast of Argentina. To improve growth traits and prove adaptation to different environments, 210 open-pollinated families from 22 provenances were planted in 5 sites. The trials, laid out in a randomized complete block design with 15 to 20 replications and single tree plot, were assessed for diameter at 1,30 m and heights at 7th year to evaluate families for backward selection. The breeding values, adjusted for the fixed effects, were predicted using a Family Mixed Model. The GxE interaction was evaluated by means of Type B correlation. Estimations of the genetics parameters showed high family narrow sense heritability. Estimations of the genetics parameters showed high family narrow sense heritability for diameter (0,29 to 0,41) and height (0,16 to 0,25) according to sites. Genetic correlation between traits is high and positive. This allows simultaneous improving for selection in both traits. Results at progeny level revealed no genotype by environment interaction in both traits.

Key words: *Pinus elliottii*, open-pollinated families, genetics parameters, genotype x environment interactions.

Introducción

En las últimas dos décadas se ha producido un crecimiento sostenido del sector forestal en el Cono Sur, resultado tanto de las políticas públicas como del incremento de la demanda de los países desarrollados (ALVARADO, 2009). En América del Sur, la mayoría de los bosques plantados se concentran principalmente en Brasil, Chile, Argentina y Uruguay que juntos poseen cerca de un 88% del total de la superficie de los bosques cultivados en la región (FAO, 2007).

Según ASIS y RESENDE (2011), el sector forestal en Brasil es considerado uno de los más desarrollados del mundo, donde el mejoramiento forestal ha desempeñado un papel importante en el aumento de la adaptación, productividad y la calidad de madera, siendo *Eucalyptus* y *Pinus* los principales géneros con programas de mejoramiento en ese país. En el mismo sentido, BRAIER (2007) observa que el crecimiento de la producción en volumen en Argentina fue más significativo que el crecimiento en superficie y aclara que este fenómeno se explica por los grandes incrementos de productividad de los bosques plantados en las últimas décadas, como resultado de los intensos trabajos de investigación y mejoramiento genético realizados en las especies cultivadas.

La superficie con bosques cultivados de la Argentina ha superado el millón cien mil hectáreas en el año 2003. El 60 % de esta superficie corresponde al género *Pinus*, que en un 88 % se encuentra localizada en la Mesopotamia argentina. (LÓPEZ, 2006).

Pinus elliottii var. *elliottii* es una de las especies de amplia difusión en el noreste argentino y existen en el país trabajos de mejoramiento desde principios de la década de 1970. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria conduce un programa que reunió, en su primera generación, 329 familias de polinización abierta provenientes de diversos programas locales (INTA, Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales, CIEF) y extranjeros (Universidad de Florida, Servicio Forestal de los EE.UU., Zimbabwe), que involucraban 22 orígenes y procedencias (RODRIGUEZ y GAUCHAT, 2005). Como resultado de ese primer ciclo, se han establecido dos series de ensayos de progenies, la primera durante el año 2004 y la segunda en 2008, conformándose la población de mejoramiento de segunda generación (RODRIGUEZ et al., 2009).

Estos ensayos determinarán el grado de control genético y la importancia de la interacción genotipo-ambiente para un número de características relevantes como criterio de selección usado en el programa. Para mejorar la eficiencia de la selección en etapas posteriores, acortar los intervalos entre generaciones y reducir el tamaño de los parcelas de prueba, es necesario disponer de la información anticipada de las pruebas genéticas (WU, 1998).

La evaluación de parámetros genéticos en programas de mejoramiento es importante para estimar futuras ganancias y desarrollar estrategias de mejoramiento (SVENSSON et al., 1999).

Los objetivos de este estudio son:

- . Evaluar familias que permitan selecciones “hacia atrás”.
- . Evaluar la interacción genotipo-ambiente.
- . Estimar parámetros genéticos

Materiales y métodos

Material genético

El material genético está integrado por 210 familias de progenies de polinización abierta correspondientes a 22 procedencias de *Pinus elliottii*.

Los ensayos fueron establecidos durante el año 2004 en 5 sitios del noreste argentino; 2 en Misiones (Puerto Esperanza, Dpto. Iguazú, suelos rojo del orden ultisoles y Cerro Azul, Dpto. L. N. Alem, suelos pedregosos del orden inceptisoles) y 3 en Corrientes (Virasoro y Virasoro II, Dpto. Santo Tomé, en dos tipos de suelos, hidromórficos del orden alfisoles y rojos del orden ultisoles, respectivamente y en Concepción, Dpto. Concepción, suelos arenosos del orden entisoles), conforme a un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con 15 a 20 repeticiones y parcelas de una planta (RODRIGUEZ, et al., 2009).

Evaluación de los ensayos

Los rasgos evaluados fueron diámetro a 1,30 m y altura total medidos al 7° año.

Los componentes de la varianza para cada rasgo fueron estimados por Máxima Verosimilitud Restringida (REML) y los valores de mejora fueron predichos usando el mejor predictor lineal insesgado (BLUP). Las varianzas de cada sitio fueron modeladas debido a las diferencias en las condiciones de crecimiento.

Análisis univariado

Se efectuó el análisis de los datos de cada variable con un modelo mixto familiar de acuerdo con la siguiente expresión:

$$y_{ij} = \mu + b_j + f_i + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} es la observación registrada de diámetro y altura

μ es el promedio general

b_j es el efecto fijo de bloques

f_i es el efecto genético aleatorio de las familias

e_{ij} efecto residual

El ajuste de este modelo tiene la finalidad de proveer los valores iniciales de varianza de los efectos aleatorios para el proceso iterativo del ajuste del modelo bivariado (APIOLAZA, 2002).

Análisis bivariado

Se efectuó el análisis bivariado con diámetro y altura en cada sitio, aprovechando las ventajas del análisis simultáneo de dos rasgos que beneficia a la precisión en la estimación de los valores genéticos por el conocimiento de la correlación genética y ambiental, usando un modelo mixto bivariado familiar y varianzas iniciales provistas por el análisis univariado.

Para evaluar la interacción de los genotipos con el ambiente fue estimada la correlación Tipo B (WHITE y HODGE, 1989) entre los valores de un mismo rasgo evaluado en sitios diferentes. Para este fin se realizó el análisis bivariado de los datos de cada rasgo tratado como variable diferente en cada sitio.

Se sostiene que la interacción genotipo – ambiente es importante cuando el valor de correlación está por debajo de 0.8 (BORRALHO, 1998).

Análisis conjunto

Una fuerte interacción de los genotipos con el ambiente puede enmascarar las varianzas que tienen menor representación en la varianza fenotípica y por lo tanto dificultar la estimación de los componentes genéticos de varianza (BORRALHO, 1998). Para evaluar y excluir esta interacción, los datos de cada variable en ambos sitios fueron analizados mediante un modelo mixto bivariado familiar conjunto según la siguiente expresión lineal:

$$Y_{spji} = \mu + S_s + f_i + b(S)_{j(s)} + (Sxf)_{sxi} + \bar{e}_{sji}$$

Donde:

Y_{sji} es la observación del Dap y Altura total para ambos sitios

μ es el promedio general

S_s es el efecto fijo de los sitios

f_i es el efecto aleatorio de las familias

$b(S)_{j(s)}$ es el efecto de los bloques dentro del efecto sitio

$(Sxf)_{sxi}$ es el efecto de la interacción sitio x familia

\bar{e}_{sji} es el efecto residual

Los datos fueron ajustados a los efectos fijos de bloques y procedencias para excluir su influencia en la varianza fenotípica total (BORRALHO, 1998). Los modelos que convergieron fueron comparados y escogidos por su función de máxima verosimilitud (LogL).

La importancia de los efectos fijos fue testada mediante una prueba de F incremental que prueba sucesivamente un efecto con los restantes del modelo y la inclusión de los efectos aleatorios fue testada mediante la Prueba de la Razón de Verosimilitud (LRT) (SEARLE, 1971).

Estimación de parámetros genéticos

Los componentes de la varianza para cada rasgo fueron estimados por Máxima Verosimilitud Restringida (REML) y los valores de mejora fueron predichos usando el mejor predictor lineal insesgado (BLUP).

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran los promedios, parámetros genéticos y los errores estándar estimados para diámetro y altura en los sitios ensayados.

Tabla 1. Promedios, parámetros genéticos y errores estándar

Table 1. Mean, genetic parameters and standard error

		Parámetros				
		Rasgo	h^2	r_F	r_A	Promedio
Sitios	Virasoro	Diámetro	0.296 (0.03)	0.63 (0.01)	0.72 (0.07)	21.15 (0.56)
		Altura	0.165 (0.03)			11.56 (0.17)
	Virasoro II	Diámetro	0.355 (0.04)	0.64 (0.02)	0.81 (0.05)	21.28 (0.65)
		Altura	0.248 (0.04)			12.17 (0.21)
	Cerro Azul	Diámetro	0.414 (0.05)	0.75 (0.02)	0.92 (0.05)	19.45 (1.0)
		Altura	0.227 (0.05)			11.50 (0.34)
	Pto. Esperanza	Diámetro	0.408 (0.04)	0.68 (0.02)	0.88 (0.04)	19.14 (0.77)
		Altura	0.253 (0.03)			10.60 (0.29)
	Concepción	Diámetro	0.308 (0.03)	0.56 (0.02)	0.56 (0.09)	17.50 (0.44)
		Altura	0.213 (0.03)			11.24 (0.19)

Las estimaciones de heredabilidad familiar en diámetro y altura son moderadamente altas. La correlación fenotípica señala que la combinación de correlaciones debidas a efectos genéticos y ambientales comunes es alta. Las estimaciones de correlación genética entre los rasgos muestran valores altos y de signo positivo. El signo indica que la selección en un rasgo no provocaría pérdida en el otro dentro de cada familia. En consecuencia existe la posibilidad del mejoramiento en volumen por el aporte de ambos rasgos.

Tabla 2. Correlaciones genéticas Tipo B para altura total

Table 2. Type B genetic correlation for total height

	Virasoro	Virasoro II	Cerro Azul	Esperanza	Concepción
Virasoro	---	0.99	0.97	0.94	0.91
Virasoro II		---	0.96	0.93	0.89
Cerro Azul			---	0.99	0.87
Pto. Esperanza				---	0.89
Concepción					---

Tabla 3. Correlaciones genéticas Tipo B para diámetro
Table 3. Type B genetic correlation for diameter

	Virasoro	Virasoro II	Cerro Azul	Esperanza	Concepción
Virasoro	---	0.95	0.89	0.99	0.79
Virasoro II		---	0.75	0.99	0.76
Cerro Azul			---	0.90	0.77
Pto. Esperanza				---	0.83
Concepción					---

Los valores de correlación Tipo B que muestra la Tabla 3 en general se encuentran por encima del valor 0.8. Esto demuestra que las familias no interactúan con el ambiente de los sitios ensayados en su desempeño en diámetro y altura. Esto muestra que si bien hay un comportamiento bien diferenciado de las familias en cada sitio, no se perciben cambios de ranking de un sitio a otro.

Conclusiones

La variabilidad genética entre familias de progenies de polinización abierta de *Pinus elliottii* var. *elliottii* es significativa y puede ser aprovechada para la mejora del crecimiento en volumen por selección de las mejores familias.

Las familias no interactúan con el ambiente de los sitios ensayados en su desempeño en diámetro y altura.

La heredabilidad familiar en diámetro y altura es moderadamente alta y coherentes con las ganancias genéticas esperadas.

La correlación genética entre el diámetro y altura es alta y positiva.

Agradecimientos

A las empresas Pindó S. A., Bosques del Plata y Empresas Verdes Sociedad Anónima, especialmente a su personal por el invaluable apoyo. Al Ing. Ftal. Juan I. Sorge y Sr. Diego Bogado por las mediciones y permanente colaboración.

Bibliografía

- ALVARADO, R. 2009. La expansión forestal en el Cono Sur. Nueva Sociedad n° 23. Montevideo, Uruguay.
- APIOLAZA, L. 2002. ASReml Cookbook A. http://uncronopio.org/luis/asrem_l_cookbook.html.
- ASIS, T. F., RESENDE, M. D. V. 2011. Genetic improvement of forest tree species. Crop Breeding and Applied Biotechnology, pag 44-49. Brazilian Society of Plant Breeding.
- BORRALHO, N. M. G. 1998. Genetics parameters estimation. En: Mejora Genética Forestal Operativa. Eds.: Ipinza R.; Gutierrez B.; Emhart V. Valdivia, Chile.
- BRAIER, G., 2007. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional 1. Argentina. En Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe. Estudio FAO Montes 148. Roma, 2006. Reimpresión 2007.
- FAO, 2007. Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe. Estudio FAO Montes 148. Roma, 2006. Reimpresión 2007.
- LÓPEZ, J. A. 2006. Mejoramiento genético de pinos subtropicales y templados usos de alto valor. Proyecto Específico PNFOR1201, Documento interno del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 23 pág.
- RODRIGUEZ, G. H., GAUCHAT, M. E. 2005. Subprograma pinos en región mesopotámica. En: Mejores árboles para más forestadores. SAGPyA. 23-56 pp.

- RODRIGUEZ, G. H., LOPEZ, C. R., SCHENONE, R. A., BELABER, E. C. 2009. Parámetros genéticos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. en su segundo ciclo de mejora para la Mesopotamia Argentina. Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires.
- SEARLE, S. R. 1971. Linear models. John Wiley & Son, New York. 532 pp.
- WHITE, T. L., HODGE, G.R. 1989. Prediction Breeding Values with Applications in Forest Tree Improvement. Kluwer Academic Publishers. Dordrech, Netherlands. 367pp.
- WU, H. X. 1999. Study of Early Selection in Tree Breeding 2. Advantage of Early Selection Through Shortening the Breeding Cycle CSIRO, Division of Forestry and Forest Products, PO Box 946, Mount Gambier, SA 5290, Australia. *Silvae Genetica* 48, 2.

IMPACTO DE LA OLA DE CALOR DEL AÑO 2003 SOBRE EL PINO OREGÓN EN FRANCIA: COMPARACIÓN DE MUERTOS Y SOBREVIVIENTES PARA CARACTERES JUVENILES Y MADUROS.

IMPACT OF THE 2003 HEAT WAVE ON DOUGLAS-FIR IN FRANCE: COMPARISON OF DEAD AND SURVIVING TREES FOR JUVENILE AND MATURE TRAITS

RuizDiazBritez, M.^{1,3}; Marin, S.¹; Martinez-Meier, A.²; Sanchez, L.¹; DallaSalda, G.²; Rozenberg, P.¹

¹ INRA (National Institute for Agronomical Research), Orléans, Francia, 2163, Avenue de la pomme de pin CS40001 ARDON, 45075 ORLEANS CEDEX 2, Francia philippe.rozenberg@orleans.inra.fr, leopoldo.sanchez@orleans.inra.fr,

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Modesta Victoria 4450. Dirección postal: C.C. 277. Código postal: 8400 – Bariloche, Argentina, almarti@bariloche.inta.gov.ar, gdsalda@hotmail.fr,

³ Parque Tecnológico Misiones, Villa Lanús Km 7 y ½, CP 3304, Misiones, Argentina, manuruizdiaz@hotmail.com

Resumen

Los eventos climáticos extremos como la ola de calor y sequía ocurrida en el año 2003 en Europa deben ser considerados como una señal del proceso de cambio climático. Las plantaciones de pino oregón reportaron diferentes signos de daño, desde necrosis foliar parcial hasta muerte de árboles. No obstante, algunos árboles circundantes a los afectados no fueron afectados visiblemente. Un estudio previo conducido en una población de pino oregón de base genética amplia en el centro de Francia demostró que existen diferencias significativas entre árboles muertos y sobrevivientes a la ola de calor. Estas diferencias fueron sistemáticamente observadas en los anillos de crecimiento anteriores al año 2003, sugiriendo una mala adaptación subyacente en los árboles muertos. En el presente estudio, consideramos la misma plantación para la cual se analizan dos nuevos juegos de variables. En el primero se analizan los perfiles de microdensidad de madera a partir de variables de microdensidad no convencionales. En el segundo corresponde a variables estructurales, morfométricas y de fenología de brotación veraniega obtenidas en el estado juvenil, recuperadas de la base de datos de INRA.

Palabras clave: adaptación, madera, microdensidad, cambio climático.

Summary

The 2003 heatwave in Europe is considered a first sign of the climate change process. Different types of damages were reported as consequence of this heat wave in many Douglas-fir populations. However, some Douglas-firs neighboring the affected trees had no visible damage. In a previous study on the effects of the 2003 heat-wave, we showed that the wood of dead and living neighboring trees showed systematic differences in latewood density components. In the present study, we consider the same population of dead and alive trees for which we analyze a set of new traits available in our database and not used for the previous study. These traits concern measures on the same trees at a juvenile stage (height, summer shoot phenology and architecture traits) and at a mature stage (microdensity). The results and the consequences for Douglas-fir in Europe are discussed.

Key words: adaptation, wood, density, climatic change.

Introducción

La ola de calor y sequía del año 2003 en Europa es considerada el primer signo preocupante del cambio climático en curso. Este evento es considerado el más severo ocurrido en Francia desde el año 1370. En algunas plantaciones de pino oregón (*Pseudotsugamenziessi* Mirb. Franco) se reportaron diferentes tipos de daños como consecuencia de esta ola de calor, desde necrosis foliar parcial hasta la muerte de individuos. No obstante, algunos árboles de pino oregón circundantes a los árboles afectados, no mostraron signos de daño visible. En un estudio previo sobre los efectos de la ola de calor 2003 en procedencias de pino oregón localizadas en Orléans, en la región central de Francia, hemos encontrado diferencias sistemáticas en el transcurso de años y antes del evento mencionado, en la madera de árboles muertos y los sobrevivientes próximos (Martínez-Meier y col, 2008). Los resultados de este primer estudio demostraron que los árboles sobrevivientes a la ola de calor y sequía del año 2003, presentaron mayor densidad media de anillo, mayor densidad y mayor proporción de madera tardía. Estos resultados, juntamente con otros ya publicados previamente, han sugerido algún rol de la función de la madera como conductora de la savia relacionado con la resistencia a la sequía.

Las variables clásicas de madera tardía usadas en este estudio se basaron en la localización de un límite arbitrario madera temprana-madera tardía, establecido de acuerdo a un único punto correspondiente a la media entre datos extremos de densidad, en cada anillo de crecimiento. No se conoce si el modo de demarcación de este límite es el más relevante para estudiar las relaciones entre los caracteres de densidad y la función de conducción de savia. Nos hemos preguntado entonces, si el establecimiento de variables de anillo que no estén basadas en el límite madera temprana-madera tardía estándar nos explicarían mejor las diferencias entre árboles muertos y sobrevivientes al evento extremo mencionado. El presente trabajo se propone investigar el rol específico de la región de madera tardía en la resistencia a la sequía por medio del establecimiento de variables novedosas de microdensidad de madera, basadas en un criterio móvil de límite madera temprana-tardía establecido por medio de un umbral arbitrario y móvil.

Materiales y métodos

En el presente estudio, en la misma población de árboles muertos y sobrevivientes se analizaron dos nuevos juegos de variables. Por una parte se analizaron 17 características juveniles disponibles en las bases de datos de INRA Orléans que fueron incluidas en el estudio previo. Estas variables comprenden altura, circunferencia, fenología de brotación veraniega, y rasgos arquitecturales evaluadas sobre el dispositivo experimental entre 1976 y 1985, cuando los árboles tenían entre uno y diez años de edad.

Por otra parte se consideró un segundo juego de variables compuesto de novedosas variables de densidad, basadas en un criterio móvil de límite madera-tardía. De acuerdo a este criterio móvil se dividieron los perfiles de microdensidad de madera en dos partes: un segmento de alta densidad y otro de baja densidad. Los anillos anuales empleados para calcular este segundo juego de caracteres estuvieron comprendidos entre 1986 y 2002. Se computaron estas variables estableciendo arbitrariamente umbrales móviles de densidad, a nivel de perfil de microdensidad completo y a nivel de anillo. Para cada segmento, de alta densidad y baja densidad, computamos las siguientes variables: densidad media, área bajo el perfil y desviación estándar. Para las variables calculadas solamente a nivel de perfil, también hemos computado el número de puntos cruzados, es decir las coincidencias entre el perfil de microdensidad y el umbral del criterio móvil de densidad. Ver Grafico 1 y 2.

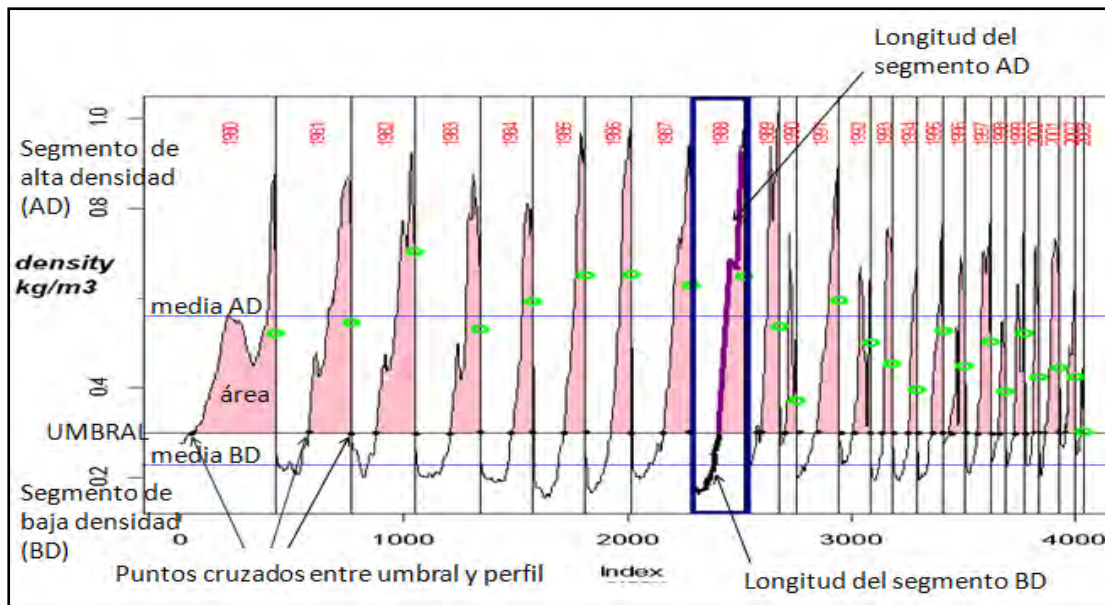


Gráfico 1. Variables establecidas a partir de un umbral de densidad móvil, al nivel de perfil de microdensidad completo y de anillos individuales: media de segmento de alta densidad, media del segmento de baja densidad, área del segmento de alta densidad, área del segmento de baja densidad, desvío estándar del segmento de alta densidad, desvío estándar del segmento de baja densidad. Al nivel de perfil completo: número de puntos cruzados. Al nivel de anillos individuales: longitud del segmento de alta densidad y longitud del segmento de baja densidad.

Figure 1: Variables established from a mobile density threshold at complet microdensity profile level and at individual rings level: mean of high density segment, mean of low density segment, surface of high density segment, surface of low density segment, standard deviation of high density segment, standard deviation of low density segment. At complet microdensity profile level: number of cross-points. At individual rings level: length of high density segment and length of low density segment.

En la comparación de árboles muertos y sobrevivientes, hemos seguido un método aleatorizado similar al utilizado en el primer estudio, a fin de impedir eventuales efectos de una distribución no al azar de árboles muertos en el ensayo. Por otra parte, para minimizar el impacto de variaciones microambientales en el contraste entre árboles muertos y sobrevivientes, se repitió la metodología experimental utilizada en el primer estudio. Esta consistió en que cada árbol muerto fue sistemáticamente asociado a un árbol adyacente sobreviviente sin síntomas visibles de afectación. Asumimos entonces que cada árbol sobreviviente comparte el mismo ambiente físico que su árbol muerto asociado. Luego, se calcularon las diferencias entre los valores observados en un árbol sobreviviente y los de su árbol muerto asociado para todas las variables estudiadas.

A fin de construir una distribución de referencia para cada estimador, hemos usado como población de referencia todos los árboles de los pares analizados. A partir de esta población de referencia se obtuvo la distribución de 1000 pares aleatorizados de árboles, sin reemplazamiento y sin considerar el estado de afectación por el evento, y se calcularon y almacenaron las diferencias para todas las variables computadas. Estas distribuciones corresponden a la diferencia esperada entre dos árboles cualesquiera, es decir una diferencia debida puramente al azar. Para todas las variables, cada diferencia observada entre árboles

sobrevivientes-muertos asociados fue comparada a su correspondiente distribución de diferencias esperadas y se estimó su significancia.

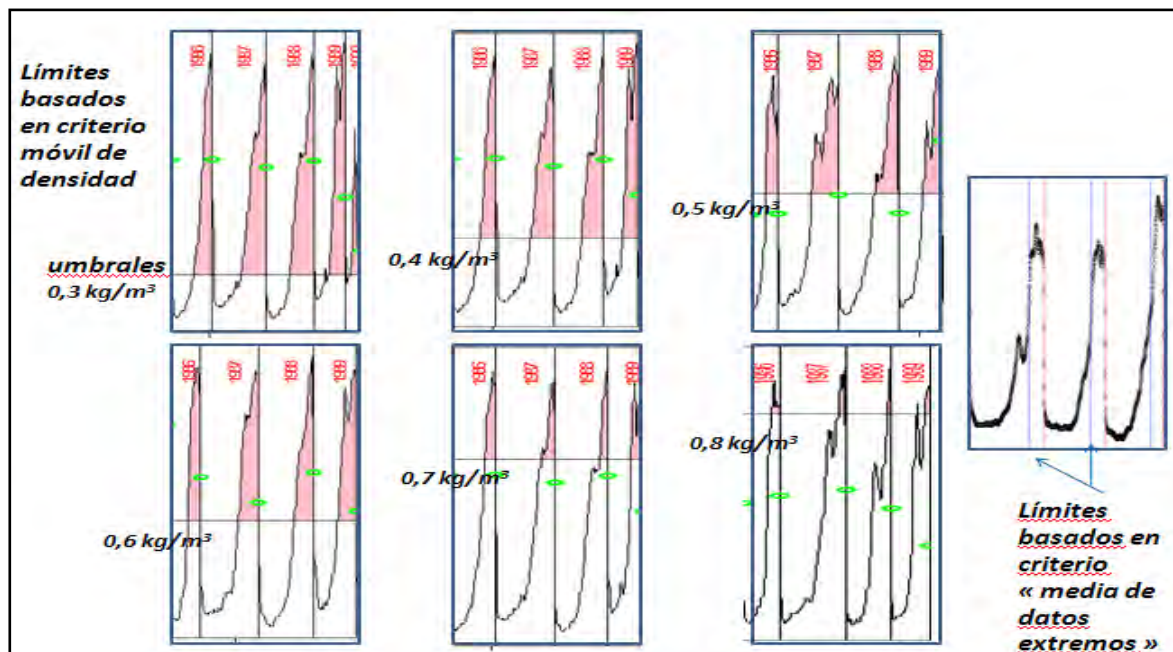


Gráfico 2: Comparación entre límites madera temprana y tardía establecidos por el criterio de media de datos extremos y por el criterio móvil de densidad.

Figure 2: Comparison between earlywood and latewood limits established by extreme density data average criterion and by mobile density threshold criterion.

Resultados y discusión

Los resultados demostraron que no existieron diferencias significativas entre árboles muertos y sobrevivientes para el primer juego de variables, es decir aquellas medidas en estado juvenil (altura, circunferencia, fenología de brotación veraniega, y rasgos arquitecturales). Por otra parte se observaron diferencias significativas para las variables de microdensidad establecidas de acuerdo a un criterio móvil de límite entre madera temprana-tardía. Al nivel del perfil de densidad completo, los árboles muertos y sobrevivientes fueron significativamente diferentes para el área, la densidad media y la desviación estándar del segmento de alta densidad, así como para el número de puntos cruzados. No se observaron diferencias significativas para las variables del segmento de baja densidad. Al nivel del anillo anual, se observaron diferencias significativas entre árboles muertos y sobrevivientes para la densidad media, el área y la longitud del segmento de alta densidad, en particular para los anillos de los años 1994-95 a 2002. Nuevamente en este caso no se observaron diferencias significativas para las variables del segmento de baja densidad. A nivel del perfil completo, el valor óptimo para el criterio de densidad móvil fue diferente para las diversas variables estudiadas y comprendió un rango entre 400 g/dm^3 (densidad media) y 600 g/dm^3 (área y número de puntos cruzados). Al nivel del anillo, el valor óptimo varió entre $500\text{-}600 \text{ g/dm}^3$ (densidad media) a 700 g/dm^3 (área, longitud y desviación estándar). La variable que exhibió diferencias mayores entre los árboles muertos y sobrevivientes fue el área del segmento de alta densidad cortado a un nivel de densidad de $600\text{-}700 \text{ g/dm}^3$.

En el presente estudio, los resultados revelaron la asociación clave entre la microdensidad de la madera tardía y la resistencia a la sequía. Debido a que la densidad está fuertemente relacionada con la proporción de lumen en un volumen dado de madera, la variable área del segmento de alta densidad puede interpretarse como la cantidad de células de pequeño volumen en el anillo. En el caso estudiado, aparentemente esta relación puede interpretarse en términos de resistencia a la sequía ligada a una mayor densidad de madera tardía o un área mayor de células de pequeño lumen, por medio de la evitación del embolismo generalizado. Sin embargo, nuevos resultados señalan a algunas variables de la madera temprana, en lugar de la madera tardía, como vinculadas a la mayor resistencia a la cavitación.

Conclusiones

Los resultados revelaron la asociación clave entre la microdensidad de la madera tardía y la resistencia a la sequía. Sin embargo, en esta especie se requiere investigar con mayor profundidad a fin de precisar el rol de la densidad en la resistencia a la sequía. Queremos subrayar especialmente el interés en la estrategia científica que consiste en comparar la madera de árboles muertos y sobrevivientes tras un evento climático extremo. Este tipo de estudios deberían repetirse para otros sitios, otras poblaciones de pino oregón y otros eventos climáticos.

Bibliografía

Martinez Meier, A.; Sanchez, L.; Pastorino, M.; Gallo, L.; Rozenberg, P. (2008) What is hot in tree rings? The wood density of surviving Douglas-firs to the 2003 drought and heat wave, *Forest Ecology and Management*. Volume 256, Issue 4, 10 August 2008, Pages 837–843.

Trabajo aprobado y presentado en el International Symposium OPPORTUNITIES AND RISKS FOR DOUGLAS-FIR IN A CHANGING CLIMATE -Freiburg Alemania-17 al 20 de octubre, 2010.

CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO E TIPOS DE SUBSTRATOS NO ENRAIZAMENTO DE ALPORQUES DE *Calliandra brevipes*

IBA CONCENTRATION AND TYPES OF SUBSTRATES ON *Calliandra brevipes* ROOTING AIR LAYERING

Salla, V. P^{1,2}; Moura, A. P. C^{1,3}; Klein, A. W^{1,4}; Zulian, D. F¹; Lima, D. M⁵

¹ Acadêmico(a) do curso de Engenharia Florestal, UTFPR-DV

² Bolsista da FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA/UTFPR– Brasil

³ Bolsista da UTFPR – Brasil.

⁴ Bolsista PET Conexões de Saberes: Agricultura Familiar, UTFPR – Brasil.

⁵ Professora Dra., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Estrada para Boa Esperança, km 04, Dois Vizinhos – PR. danielamlima@ufpr.edu.br.

Resumo

Calliandra brevipes (Leguminosae-Mimosoidae) é um arbusto lenhoso, muito ramificado, nativo do Brasil e que apresenta de 1 a 2 m de altura, devendo ser mantida sempre a pleno sol e possuindo como característica a tolerância a geadas e ao frio, sendo muito utilizada como planta ornamental. Objetiva-se com o mesmo avaliar o efeito da aplicação de diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB) e tipos de substratos na propagação vegetativa da *Calliandra brevipes* por meio da técnica de alporquia. O experimento foi conduzido no Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, situado no município de Dois Vizinhos – PR, entre os meses de fevereiro e abril de 2011. Constatou-se que a aplicação de AIB não é necessária para o enraizamento de *Calliandra brevipes*, sendo a espécie considerada de fácil enraizamento.

Palavras-chave: alporquia, auxina, caliandra, propagação vegetativa.

Summary

Calliandra brevipes (Leguminosae-Mimosoidae) is a woody shrub, much branched, a native of Brazil, which has 1 to 2 m in height, should always be kept in full sun and having the characteristic tolerance to frost and cold, and very used as an ornamental plant. Purpose is to even evaluate the effect of different concentrations of butyric acid (IBA) and substrates in the vegetative propagation of *Calliandra brevipes* through technique alporquia. O experiment was conducted at the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, located in the city of Two Neighbors - PR, between the months of February and April 2011. It was found that the application of IBA is not necessary for the rooting of *Calliandra brevipes*, and the kind considered easy to rooting.

Key Words: layering, auxin, Caliandra, vegetative propagation.

Introdução

Calliandra brevipes (Leguminosae-Mimosoidae) é um arbusto lenhoso, muito ramificado, nativo do Brasil e que apresenta de 1 a 2 m de altura, devendo ser mantida sempre a pleno sol e possuindo como característica a tolerância a geadas e ao frio, sendo muito utilizada como planta ornamental (BIONDI & LEAL, 2008; GOES, 2009).

Suas folhas são pequenas, reunindo-se em capítulos densos, com estames cor-de-rosa podendo ser também brancos ou roxos, seu florescimento ocorre durante a primavera e verão. (LORENZI & SOUZA, 2008).

A propagação de caliandra pode ser feita de duas maneiras, sexuada, quando as sementes são colhidas diretamente nos frutos, onde estes se abrem espontaneamente. Ou também pode ser assexuadamente por estaquia, onde estas devem ser retiradas de ramos mais lenhosos, tendo como vantagem um melhor pegamento, ou com a utilização de hormônios de enraizamento (auxinas). As sementes por sua vez devem passar por alguns processos de quebra de dormência, tendo em vista que elas apresentam um tegumento basicamente rígido (Planta Sonya).

A alporquia é uma técnica propagação vegetativa, a qual consiste basicamente em interromper o fluxo de seiva e substâncias nutritivas elaboradas no caule, fazendo com que aja um acúmulo de carboidratos, bem como auxinas e outros fatores que induzem o crescimento nessa região, favorecendo assim o enraizamento (FACHINELLO *et al.*, 2005).

A alporquia consiste em envolver uma parte da planta que esta em solo ou substrato correspondente, contidos em vasos, para que esta proporcione boas condições para o enraizamento (ROCHA *et al.*, 2003). A ação de reguladores vegetais auxilia na técnica de propagação assexuada bem como ácido indolbutírico (AIB), esta é considerada a auxina mais utilizada na indução de enraizamento adventício, por ser considerada uma substancia fotoestável com ação localizada, e mais resistente a degradação biológica, em relação as de mais auxinas sintéticas. (FACHINELLO *et al.*, 1995).

O ácido indolbutírico (AIB) é o mais utilizado no enraizamento de estacas. Porém a sua concentração ótima pode variar de espécie á espécie, sendo que quando usadas em excesso alem da recomendação da espécie, este pode se tronar um inibidor do enraizamento (CARPENTER & CORNELL, 1992).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB) e tipos de substratos na propagação vegetativa da *Calliandra brevipes* por meio da técnica de alporquia.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, situado no município de Dois Vizinhos – PR, entre os meses de fevereiro e abril de 2011. Os ramos semilenhosos de uma planta de *Calliandra* foram selecionados e sofreram um anelamento total com 1,5 cm de comprimento, sendo envolvidos por algodão umedecido em soluções de diferentes concentrações de AIB (0 mg L⁻¹, 1500 mg L⁻¹ e 3000 mg L⁻¹) envolvidos pelos substratos Maxfértil®, fibra de coco e vermiculita, umedecidos com água e recobertos com sacos de polietileno amarrados com barbante nas extremidades.

O experimento foi inteiramente casualizado com três tratamentos, três repetições e três substratos, com arranjo fatorial 3 x 3 (três concentrações de AIB x três substratos). Aos 60 dias após a instalação do experimento os ramos foram removidos da planta matriz para a avaliação dos alporques. Foram avaliadas as variáveis: porcentagem de enraizamento, número e comprimento médio das raízes formadas por alporque, porcentagem de alporques vivos, com calos e mortos e massa seca de raízes (g).

Para a verificação da massa seca de raízes, essas foram retiradas dos alporques e submetidas à secagem em estufa a 65 °C por um período de 36 horas. Em seguida foram realizadas as pesagens para determinação da massa.

Para testar a homogeneidade das variâncias utilizou-se o teste de Bartlett e para a comparação de médias, os dados foram submetidos ao teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para a realização da análise estatística foi utilizado o programa MSTAT-C^â, versão 2.10.

Resultados e Discussão

O teste de Bartlett revelou que as variâncias foram homogêneas para as variáveis: porcentagem de alporques enraizados, com calos e comprimento médio de raízes, não sendo possível a análise dos dados, mesmo com a transformação deles por raiz de $x+0,5$. Para as variáveis número médio e massa seca de raízes (g), a análise estatística revelou que não houve interação significativa entre os fatores testados, sendo os fatores analisados independentes para todas as variáveis.

Para a porcentagem de alporques enraizados, verificou-se que o Maxfertil® e a vermiculita apresentaram 100% de enraizamento enquanto o pó de coco apresentou 66,67% (Tabela 1). O substrato exerce muita influência no enraizamento, e de acordo com CAMPOS (2010), este deve possuir algumas características básicas como: retenção de umidade, proporcionar um ambiente escuro e opaco, além de permitir a aeração já que esta característica influencia a atividade celular na formação de calos e emissão de raízes.

Tabela 1 – Porcentagem de alporques enraizados de *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos -PR, 2011.

Table 1 – Percentage of rooted air layering of *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos – PR - PR 2011.

Concentrações AIB (mg L ⁻¹)	Alporques Enraizados (%)			
	Substratos			
	Max	Coco	Verm	Média
0	100,00	66,67	100,00	88,89
1500	100,00	100,00	100,00	100,00
3000	100,00	100,00	100,00	100,00
Média	100,00	88,89	100,00	
CV (%)		18,52		

* Dados transformados por raiz quadrada $x+0,5$

Max = Maxfertil®; Coco = Pó de coco; Verm = Vermiculita.

CV = Coeficiente de variação

O substrato deve conter baixa densidade, capacidade de absorção e retenção de água adequada, evitando o excesso de umidade, assim como também boa aeração e drenagem, deve apresentar boa qualidade fitossanitária, porém como é difícil reunir todas as qualidades em um só substrato, são usadas misturas de materiais para obter um produto melhor para a realização de alporquia (KÄMPF, 2000; WENDLING *et al.* 2002).

Ao comparar a porcentagem de enraizamento de duas espécies de caliandra (*Calliandra brevipes* e *C. tweedii*), MAYER *et al.* (2008) observou que *C. brevipes* tem maior eficiência de enraizamento de estacas, em relação a outra, com utilização de substrato do tipo vermiculita com granulometria média.

No trabalho realizado por CAMPOS (2010) com faveleira (*Cnidocolus phyllacanthus*) não houve diferença estatística entre os substratos utilizados na alporquia. Já o trabalho realizado por SMARSI *et al.* (2008) mostra que o maior comprimento do sistema radicular foi obtido com o substrato húmus seguido do Plantmax®, em alporques de lichia (*Litchi chinensis* Sonn), devido as propriedades físicas destes substratos que deram condições ideais para que se desenvolva-se um bom crescimento radicular.

Em relação às concentrações de AIB testadas, a testemunha apresentou 88,89% de enraizamento, enquanto que nos demais tratamentos verificaram-se 100%, entretanto esses valores não diferiram significativamente. Esses resultados divergem dos obtidos por

BITENCOURT *et al.* (2007) em estudo com alporquia de ginkgo (*Ginkgo biloba*), aonde as concentrações de 1500 mg L⁻¹ e 3000 mg L⁻¹ proporcionaram um maior enraizamento em relação à testemunha.

No que diz respeito ao número médio de raízes não houve diferença significativa em relação às concentrações de AIB testadas e aos substratos utilizados (Tabela 2). Contudo houve uma tendência numérica de formação de maior número de raízes com a aplicação de AIB em relação à testemunha. Resultado este que assemelha-se ao trabalho desenvolvido por Mayer *et al.* (2008), com a utilização de estacas de *C. brevipes*, sendo que a aplicação de AIB exógena não influenciou na porcentagem de enraizamento, todavia na aplicação em *C. tweedii*, elevou a porcentagem de enraizamento de 23,33% para 56,67%. Apesar de não haver significância, numericamente, a fibra de coco proporcionou a formação de um maior número de raízes. Pio *et al.* (2005), em trabalho de enraizamento de estacas herbáceas de figueira (*Ficus carica* L.), também verificou melhores resultados de enraizamento com a utilização de fibra de coco.

Tabela 2 – Número e comprimento médio de raízes por alporque de *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2011.

Table 2 – Number and average length of roots by layering of *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos – PR - PR, 2011.

Concentrações AIB (mg L ⁻¹)	Número médio de raízes				Comprimento médio de raízes (cm)			
	Substratos				Substratos			
	Max	Coco	Verm	Média	Max	Coco	Verm	Média
0	4,00	6,67	6,67	5,78 A	5,52	6,81	5,89	6,07
1500	88,00	92,00	91,33	90,44 A	6,42	10,68	4,83	7,31
3000	138,00	191,00	119,00	149,44 A	5,33	12,52	6,59	8,15
Médias	76,66 a	96,56 a	72,33 a		5,76	10,00	5,77	
CV (%)		24,09				27,56		

* Dados transformados por raiz quadrada $x+0,5$

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Max = Maxfêtil®; Coco = Pó de coco; Verm = Vermiculita.

CV = Coeficiente de variação

Em relação ao comprimento médio de raízes não houve diferença significativa em relação às concentrações de AIB testadas, porem houve uma tendência numérica de maior comprimento médio de raízes com a aplicação de AIB de (3000 mg L⁻¹) em relação à testemunha. Já em relação ao substrato utilizado a fibra de coco apresentou a maior média com 10,00 cm. (Tabela 2).

Os resultados obtidos são contrários ao relatado por Wagner Junior *et al.* (2005) em alporquia realizada com a espécie pessegueiro ‘biuti’ (*Prunus persica* L. Bastsch), aonde o autor obteve maior comprimento da raiz com a utilização de maiores dosagens de AIB. BITENCOURT *et al.* (2007) em alporquia com a espécie *G. biloba*, também obteve influência no comprimento das raízes com a adição de AIB, o afirmando que resultados assim estão ligados a capacidade do AIB em formar raízes adventícias.

Já LEITE *et al.* (2007) na alporquia de *Caryocar brasiliense* Camb. obteve resultados semelhantes a este experimento, aonde as diferentes dosagens de AIB aplicadas não influenciaram na variável comprimento da maior raiz. Em relação aos diferentes substratos empregados SILVA *et al.* (2006), obteve um maior volume de raízes na estaquia da espécie pitaya vermelha (*Hylocereus undatus* Haw) no substrato fibra de coco. CARRIJO *et al.*

(2002) comparou a fibra de coco com outros sete tipos de substrato na produção de tomateiro, sendo que o resultado obtido foi de um aumento na produção em cerca de 1 tonelada quando utilizado o substrato. O autor afirma que isto é possível devido as boas propriedades físicas do substrato bem como sua não reação com os adubos e longa durabilidade sem alteração das propriedades físicas.

Para a massa seca de raízes não foi verificada diferença significativa entre os substratos e as concentrações de AIB testadas (Tabela 3). CAMPOS (2010) em estudos com alporquia da espécie faveleira (*Cnidocolus phyllacanthus* (Mart.) Pax et K. Hoffm.) obteve resultados semelhantes, aonde não obteve diferença estatística entre as médias de massa seca das raízes em função dos diferentes substratos empregados, bem como com a aplicação de diferentes dosagens de AIB. Em relação ao uso de diferentes substratos o mesmo resultado se aplica a BATISTA *et al.* (2011), aonde os autores não obtiveram diferença estatística na massa seca da raiz de estacas da espécie romã (*Punica granatum* L.).

Tabela 3 – Massa seca de raízes de *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2011.

Table 3 – Root Biomass of *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos – PR – PR, 2011.

Concentrações AIB (mg L ⁻¹)	Massa Seca de raízes (g)			
	Max	Coco	Verm	Média
0	0,036	0,175	0,058	0,090 A
1500	0,327	0,907	0,837	0,690 A
3000	0,428	1,338	0,430	0,732 A
Média	0,264 a	0,807 a	0,442 a	
CV (%)	40,01			

* Dados transformados por raiz quadrada $x+0,5$

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Max = Maxfertil®; Coco = Pó de coco; Verm = Vermiculita.

CV = Coeficiente de variação

Verificou-se que a porcentagem de alporques com calos foi de 100% (Tabela 4). No entanto, para essa variável, não houve diferença estatística em relação aos diferentes substratos e diferentes concentrações de auxina. Pio *et al.* (2007) em estudos com outras espécies como o marmeleiro japonês (*Chaenomelis sinensis* L.) obtiveram porcentagem de 96,70 a 100% de alporques com calos sem o uso de reguladores, nas diferentes épocas do ano. Em estudos realizados por CÉZAR *et al.* (2009) com a técnica de alporquia em quaresmeiras (*Tibouchina. fothergilla*), também houve a formação de calos de cor esbranquiçada e consistência compacta, com ocorrência em 100% dos alporques, em presença ou não de raízes. Esses resultados forneceram indícios de que não houve influência do ácido naftaleno acético na formação de calos, podendo estes ser provenientes somente do anelamento da planta.

O anelamento dos ramos proporciona uma maior concentração de carboidratos na região anelada, podendo auxiliar tanto na formação de calos como na formação de raízes adventícias (ARAÚJO *et al.*, 2004). Já Zuffellato-Ribas & Rodrigues (2001) ressaltaram que não há uma ligação direta entre a formação de calos e o enraizamento, porém em ambas as situações tanto a de formação de calos quanto a de raízes dependem de fatores internos similares, bem como condições ambientais favoráveis.

Tabela 4 – Porcentagem de alporques com calos, de *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2011.

Table 4 – Percentage of layering with calluses, *Calliandra brevipes*. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2011.

Concentrações AIB (mg L ⁻¹)	Alporques com Calos (%)			
	Substratos			
	Max	Coco	Verm	Média
0	100,00	100,00	100,00	100,00
1500	100,00	100,00	100,00	100,00
3000	66,67	66,67	100,00	77,78
Média	88,89	88,89	100,00	
CV (%)	29,39			

* Dados transformados por raiz quadrada $x+0,5$

Max = Maxfertil®; Coco = Pó de coco; Verm = Vermiculita.

CV = Coeficiente de variação

Em estudos realizados por SMARSI *et al.* (2008), com concentrações de AIB e diferentes tipos de substratos na propagação vegetativa de lichia (*Litchi chinensis* Sonn), houve um aumento linear na porcentagem de alporque com calos (100%) devido ao aumento da concentração de AIB.

Conclusões

A aplicação de AIB não é necessária para o enraizamento de *Calliandra brevipes*, sendo a espécie considerada de fácil enraizamento. A utilização de AIB é viável para a formação de maior número de raízes por alporque, contribuindo para a formação de um sistema radicial de melhor qualidade. O enraizamento de alporques da espécie pode ser realizado com qualquer um dos substratos testados no presente trabalho. Com base em aspectos ambientais e econômicos, principalmente na disponibilidade de material, o viveirista pode usar maior ou menor proporção de cama de aviário no substrato.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação Araucária/UTFPR – Brasil.

Bibliografia

- ARAÚJO, J. P. C.; SCARPARE FILHO, J. A.; RODRIGUES, A. 2004. **Alporquia em Lichia: épocas e concentrações de carboidratos solúveis em ramos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18. 2004, Florianópolis. Anais Florianópolis: Adaltech, CD- ROM.
- BATISTA, P. F.; MAIA, S. S. S.; COELHO, M. F. B. de.; BENEDITO, C. P.; GUIMARÃES, I. P. 2011. Propagação vegetativa de romã em diferentes substratos. **Revista Verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, Mossoró, v.6, n.4, p.96-100.
- BIONDI, D. & LEAL, L. 2008. Caracterização das plantas produzidas no horto municipal da Barreirinha – Curitiba-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 3, n. 2, p. 20-36.
- BITENCOURT, J.; MAYER, J.L.S.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C. 2007. Propagação vegetativa de Ginkgo biloba por alporquia. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.9, n.2, p.71-74.
- CAMPOS, G. N. F. 2010. **Clonagem de *Cnidocolus phyllacanthus* (mart.) pax et k. hoffm. (faveleira) por alporquia**. 45 f. Dissertação (Pós-graduação em ciências florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos.
- CARPENTER, W. J & CORNELL, J. A. 1992. Auxin application duration and concentration govern rooting of hibiscus stem cuttings. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 1, p. 68-74.
- CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. 2002. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535.
- CÉZAR, T. M.; SOUZA, F. C. de.; MACIEL, R. T.; DEMBISKI, W.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; RIBAS, L .L. F.; KOEHLER, H. S. 2009. Estaquia e alporquia de *Tibouchina fothersgillae* (D.C.) Cogn. (MELASTOMATACEAE) com a aplicação de ácido naftaleno acético. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.6, p.463-468.

- KÄMPF, A.N. 2000. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. (Ed.). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, p.139-145.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E.; FORTES, G. R. de L. 1995. **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2 ed. Pelotas: UFPel, 178p.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. 2005. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 221 p.
- GÓES, G. S. 2009. **Arborização de ruas e praças em Salvador, BA**. 127 f. Tese (Bacharel em Ciências Biológicas, Ecologia: Recursos Ambientais) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JR., F. T.; GENEVE, R. L. 2002. **Plant propagation: principles and practices**. New Jersey: Prentice-Hall, 880 p.
- LEITE, G. L.D.; VELOSO, R. V. S.; CASTRO, A. C. R. de.; LOPES, P.S.N.; FERNADES, G. W. 2007. Efeito do aib sobre a qualidade e fitossanidade dos alporques de influência da Caryocar brasiliense Camb (Caryocaraceae). **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.315-320.
- LORENZI, H. & SOUZA H. M. 2008. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1088p.
- MAYER, J. L. S.; CARDOSO, N. A.; CUQUEL, F.; BONA, C. 2008. Formação de raízes em estacas de duas espécies de *Calliandra* (LEGUMINOSAE - MIMOSOIDEAE), **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.59, n.3, p.487-495.
- NORONHA, A. F. 2011. **Reprodução de plantas por via assexuada - alporquia**. Caçapava, 2007. Disponível em: <http://www.fundevap.org.br/Downloads/Reprodu%E7%E3o%20de%20plantas%20por%20via%20assexuada%20-%20Alporquia.pdf>. Acesso em: 10 maio.
- PIO, R.; DALL'ORTO, F. A. C.; ALVARENGA, A. A.; ABRAHÃO, E.; CHAGAS, E. A.; SIGNORINI, G. 2007. Propagação do marmeleiro 'japonês' por estaquia e alporquia realizadas em diferentes épocas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 570-574.
- PIO, R.; ARAÚJO, J. P. C. de.; BASTOS, D. C.; ALVES, A. S. R.; ENTELMANN, F. A.; SCARPARE FILHO, J. A.; MOURÃO FILHO, F. A. A. 2005. Substratos no nraizamento de estacas herbáceas de figueira oriundas da desbrota. **Ciência e Agrotecnologia** Lavras, v. 29, n. 3, p. 604-609.
- ROCHA, M. S.; FACHINELO, J. C.; BIANCHI, V. J.; MENEZES, G. G. 2003 Propagação de porta-esxertos de pessegueiros por alporquias. **Revista Brasileira de agrociência**, Pelotas, v. 108, p. 1-5.
- SILVA, M. T. H.; MARTINS, A. B. G.; ANDRADE, R. A. de. 2006. Enraizamento de estacas de Pitaya vermelha em diferentes substratos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.19, n.1, p.61-64.
- SMARSI, R. C.; CHAGAS, E. A.; REIS, L. L. dos.; OLIVEIRA, G. F. de.; MENDONÇA, V. TROPALDI, L.; PIO, R.; SCARPARE FILHO, J. A. 2008. Concentrações de Ácido Indolbutírico e Tipos de Substrato na Propagação Vegetativa de Lichia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, n. v. 30, p.07-11.
- ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. & RODRIGUES, J. D. 2001. **Estaquia: Uma abordagem dos principais aspectos fisiológicos**. Curitiba: [K. C. Zuffellato-Ribas], 39 p.
- WAGNER JUNIOR, A.; ALEXANDRE, R. S.; NEGREIROS, J. R.S. da.; PARIZZOTTO, A.; BRUCKNER, C. H. 2005. Efeito da aplicação do ácido indolbutírico no enraizamento de ramos de pessegueiro 'biuti' através do processo da alporquia. **Revista Ceres**, Viçosa, v.52, n.304, p.975-985.
- WENDLING, I.; GATTO, A.; PAIVA, H. N. et al. 2002. Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas. Viçosa: Aprenda Fácil Editora. 166p.
- Disponível em: **O seu blog sobre cultivo de plantas e flores, pragas, adubos, jardins, enfim tudo sobre plantas** <http://www.plantasonya.com.br/cercas-vivas-e-arbustos/sobre-a-caliandra.html>. Acessado, 04/abr/2012.

ESTUDOS SOBRE A GERMINAÇÃO DE *Maytenus muelleri* Schwacke EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE SOLO E CAMA DE AVIÁRIO E CONCENTRAÇÕES DE GIBERELINA (GA₃)

STUDIES ON THE GERMINATION OF *Maytenus muelleri* Schwacke IN DIFFERENT COMPOSITIONS OF SOIL AND BED AND CONCENTRATION OF AVIAN GIBBERELLIN (GA₃)

Salla, V. P.^{1,2}; Moura,; Klein, A. W.^{1,3}; A. P. C.^{1,4} Zulian, D. F.^{1,5}; Lima, D. M. de⁶

¹Acadêmico(a) do curso de Engenharia Florestal, UTFPR-DV.

²Bolsista da Fundação Araucária.

³Bolsista PET Conexões de Saberes: Agricultura Familiar, UTFPR – Brasil

⁴ Bolsista da Fundação Araucária.

⁵ Bolsista da Fundação Araucária.

⁶Professora Dra., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Estrada para Boa Esperança, km 04, Dois Vizinhos – PR. danielamlima@ufpr.edu.br.

Resumo

Maytenus muelleri é uma espécie nativa do Brasil pertencente à família Celastraceae. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes misturas de terra e matéria orgânica e analisar os efeitos da aplicação de giberelina no processo de germinação da espinheira-santa. Os experimentos foram instalados na UTFPR-DV utilizando delineamento estatístico inteiramente casualizado. O primeiro experimento consistiu de cinco tratamentos cada um contendo quatro repetições de 50 sementes por parcela, plantadas em diferentes misturas de terra e cama de aviário. No segundo experimento as sementes foram tratadas em soluções de Pró-Gibb[®] (ácido giberélico (GA₃)) de diferentes concentrações durante 24 horas e semeadas em dois tipos de substrato: vermiculita e substrato orgânico. No primeiro experimento observou-se que o tratamento terra (54,50%) é o mais indicado para a germinação da espécie. Já no segundo, as concentrações de 750 (45,00 %) e 1000 mg L⁻¹ (47,50%) em vermiculita foram as mais adequadas para a germinação da espécie.

Palavras-chave: espinheira-santa; ácido giberélico; substratos.

Summary

Maytenus muelleri is a native species from Brazil belonging to the family Celastraceae. The objective of this study was to evaluate the influence of different mixtures of soil and organic matter and analyze the effects of gibberellin on the germination process of *M. muelleri*. The experiments were conducted at the UTFPR-DV using completely randomized experimental design. The first experiment consisted of five treatments each with four replications of 50 seeds per plot, planted in different mixtures of soil and litter. In the second experiment, seeds were treated in solutions of Pro-Gibb[®] (gibberellic acid (GA₃)) of different concentrations for 24 hours and planted on two types of substrate: vermiculite and organic substrate. In the first experiment the soil treatment (54.50%) was the most suitable for the germination of the species. In the second, concentrations of 750 (45.00%) and 1000 mg L⁻¹ (47.50%) in the vermiculite were the most suitable for the germination of the species.

Key words: espinheira-santa; gibberellic acid; substrates.

Introdução

A espinheira-santa (*Maytenus muelleri* Schwacke) também conhecida como cancorosa, espinheira-divina, erva-santa entre outros é uma espécie nativa da região sul do país, encontrada nos sub-bosques das florestas de Araucária em locais como margens de rios. Pertencente à família Celastraceae possui características morfológicas como altura entre 4-5 metros, copa globosa, folhas simples, coriáceas de margens frequentemente com espinhos. Um dos seus principais empregos é como espécie medicinal, sendo que seu uso tradicional é no tratamento de úlceras, indigestão, gastrite e dispepsia (Lorenzi, 2002; Lorenzi, 2008).

Sendo uma espécie com propriedades medicinais conhecidas, seu uso se tornou constante, porém, se tratando de uma espécie nativa a utilização indiscriminada da mesma ocasionou problemas quanto sua manutenção como recurso natural sendo considerada ameaçada de extinção (Flores et al., 1998; Lima, 2010).

Outro ponto importante está no fato desta ser uma das espécies nativas com um dos maiores registros fitoterápicos simples para o tratamento de úlceras gástricas e também por ser empregada na rede pública como tratamento alternativo e de baixo custo para populações carentes (Alberton et al., 2002; Carvalho et al., 2008).

Levando em consideração esses fatores à propagação desta espécie é de suma importância, podendo também, tornar-se uma alternativa para o incremento na renda de pequenos produtores. O preço das suas folhas na região metropolitana de Curitiba varia entre R\$7,00 a R\$ 12,00 por quilo para produtores tecnificados (Carvalho et al., 2003; Mariot; Barbieri, 2006).

Os produtores de espinheira-santa da região metropolitana de Curitiba propagam a espécie exclusivamente por sementes, portanto estudos sobre sua germinação são de grande importância. A espécie inicia seu ciclo reprodutivo em épocas diferentes de acordo com cada região, por isso, a extração das sementes deverá ser feita a partir do momento em que seus frutos estiverem abertos expondo desse modo o arilo. Já as sementes de coloração castanha apresentam estágio de maturação fisiológica, porém a espécie possui germinação muito desuniforme (Carvalho et al., 2003; Mariot; Barbieri, 2006). Devido a estes motivos supõe-se que a utilização de ácido giberélico (GA3) bem como a escolha de um substrato ideal para sua semeadura é tentativa para uniformizar e maximizar sua germinação.

Entre as diversas recomendações de substrato para a produção de mudas de espinheira-santa, salienta-se a importância da matéria orgânica, pelo fato desta espécie ser exigente neste tipo de adubação. De uma forma geral, outras características que definem um substrato como ideal para germinação são porosidade e esterilidade, já que uma boa porosidade irá permitir o movimento de água e ar favorecendo a germinação (Mariot; Barbieri, 2006; Alves et al., 2008).

O grupo de hormônios denominado de giberelinas (GAs) tem como uma de suas principais funções a promoção da germinação de sementes, pois este hormônio está envolvido em diversas etapas como: ativação do crescimento vegetativo do embrião, enfraquecimento da camada do endosperma que reveste este embrião e mobilização das reservas energéticas do endosperma da semente. Sua aplicação também estimula a síntese de hidrolases, principalmente a α -amilase (Taiz; Zeiger, 2004).

Sendo assim o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes misturas de terra e matéria orgânica na germinação de espinheira-santa, bem como analisar os efeitos da aplicação de giberelina e de substratos no processo de germinação da espinheira-santa.

Material e Métodos

Os experimentos foram realizados nas dependências do viveiro e casa de vegetação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos, entre os meses de fevereiro e junho de 2011.

Para a realização dos experimentos foi necessária a coleta de frutos no mês de janeiro de 2011, sendo que estes foram retirados de plantas matrizes existentes na Estação Experimental do Canguiri, Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Pinhais-PR.

Logo após a coleta os frutos foram transportados para o município de Dois Vizinhos e tiveram suas sementes removidas juntamente com o arilo.

Experimento 1 – germinação em diferentes concentrações de solo e cama de aviário

As misturas com diferentes proporções de matéria orgânica foram preparadas com a utilização de cama de aviário e terra que logo após serem peneirados foram misturados em diferentes proporções: T1 (terra); T2 (terra:cama de aviário (3:1)); T3 (terra:cama de aviário (1:1)); T4 (terra:cama de aviário (1:3)); T5 (cama de aviário).

Os substratos foram colocados em bandejas plásticas com capacidade de seis litros, nas quais foi feita a semeadura. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições de 50 sementes por parcela totalizando 1000 sementes. As bandejas foram deixadas em casa-de-vegetação e submetidas a três irrigações diárias com duração de aproximadamente 15 minutos. Após 120 dias, foram avaliadas as seguintes variáveis: porcentagem de emergência, comprimento do caule, diâmetro do caule e número médio de folhas por plântula. Para testar a homogeneidade das variâncias utilizou-se o teste de Bartlett e para a comparação de médias, os dados foram submetidos ao teste Tukey a 5% de probabilidade.

Experimento 2 – germinação em diferentes concentrações de GA3 e em diferentes substratos.

Após a limpeza das sementes foram preparadas as soluções aquosas com diferentes concentrações de Pró-Gibb® (GA3), sendo estas 0, 250, 500, 750, 1000, 1250 e 1500 mg L⁻¹. As sementes foram colocadas em cada uma das soluções e deixadas de molho durante 24 horas. Após a retirada das soluções, as sementes foram semeadas em tubetes contendo substratos vermiculita de granulometria fina e substrato orgânico comercial (Maxfertil®).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 7 tratamentos e 4 repetições, com 25 sementes por parcela, em arranjo fatorial 7 x 2 (concentrações x substratos). As bandejas permaneceram em casa de vegetação sob irrigação diária, sendo irrigadas três vezes por dia com duração de 15 minutos, por sistema de micro-aspersão por um período. Após 120 dias, foram avaliadas as seguintes variáveis: porcentagem de emergência, comprimento do caule, diâmetro do caule e número médio de folhas por plântula. Para testar a homogeneidade das variâncias utilizou-se o teste de Bartlett e para a comparação de médias, os dados foram submetidos ao teste Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Experimento 1 – germinação em diferentes concentrações de solo e cama de aviário

Por meio da comparação de médias podemos observar que não foram constatadas diferenças significativas para as variáveis: emergência (%), comprimento do caule (cm) e número de folhas. Já em relação à variável diâmetro do caule (cm) foi possível verificar que o

tratamento terra apresentou significativamente o melhor resultado com 1,00 cm, quando comparado ao tratamento terra: cama de aviário (1:1), com e 0,72 cm (Tabela 1).

Tabela 1 – Porcentagem de emergência de sementes, comprimento do caule, diâmetro do caule e número médio de folhas de plântulas de *M. muelleri*. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2011.

Table 1 - Percentage of emergency seed, stem length, stem diameter and leaf number of seedlings of *M. muelleri*. UTFPR Two Neighbors - PR, 2011.

Substrato	Emergência (%)	Comprimento do caule (cm)	Diâmetro do caule (cm)	Número de folhas
terra	54,50 a	2,63 a	1,00 a	4,70 a
terra:cama de aviário (3:1)	41,50 a	2,59 a	0,79 bc	4,68 a
terra:cama de aviário (1:1)	23,50 a	3,00a	0,72 c	4,22 a
terra:cama de aviário (1:3)	28,00 a	3,22 a	0,93 ab	4,90 a
cama aviário	33,50 a	2,74 a	0,77 bc	4,28 a
Média	36,20	2,83	0,84	4,56
Teste de Bartlett (χ^2)	3,767	6,495	2,495	0,957
CV (%)	29,41	11,92	6,25	11,10

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V.= coeficiente de variação.

Quanto à porcentagem de emergência esta pode ser considerada baixa já que apresentou uma média de 36,20%, quando comparada ao trabalho de Kowalski et al. (2008) com a mesma espécie, os quais obtiveram uma porcentagem média de sobrevivência de 86,98%. Gonçalves et al. (2007) em estudos com a germinação de trapiá (*Crataevatapia* L.) verificou uma média de até 80% de germinação. Alves et al., (2002) em testes com a espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. encontrou uma porcentagem de germinação de até 99% em temperatura de 25°C.

O substrato exerceu influência nesta variável, pois de acordo com determinadas características que possui poderá oferecer ou não condições favoráveis ao desenvolvimento radicular, condições estas como: boa estruturação, aeração e disponibilidade de nutrientes (Ealbuquerque et al., 1998; Wendling et al., 2006).

Apesar de no presente trabalho as diferentes misturas de solo e cama de aviário não afetarem a maioria das variáveis, Souza et al. (2011) afirmaram que a cama de aviário é um substrato que possui características que além de melhorar a estrutura incrementa também a fertilidade do solo. Portanto, quando adicionada a algum substrato, poderá trazer benefícios.

Quanto ao comprimento do caule, Lima et al. (2009) obteve 15,80 cm após 35 dias de semeadura com a pré-embebição das sementes em giberelina líquida na concentração de 200 cm³ dm⁻³ para a espécie *Artocarpus heterophyllus* Lam.

Estudos realizados por Pereira et al (2010) mostraram que a matéria orgânica proporcionou um maior crescimento em altura e diâmetro do caule das mudas de tamarindeiro (*Tamarindus indica*), onde este atingiu um crescimento máximo de 37% e 46,15% de cama-de-frango respectivamente na composição do substrato.

Lima et al. (2006) em estudos com diferentes substratos na produção de mudas de mamoneira, o substrato contendo cama de frango mostrou-se uma boa fonte de nutrientes, porém necessitou ser combinado com um outro material que propicie condições físicas adequadas.

Para Melo et al. (2003) independente da espécie e do método de cultivo e regime de adubação, um substrato deve satisfazer as exigências tanto físicas como químicas contendo

proporções suficientes de elementos essenciais à planta bem como, ar, água, minerais e nutrientes para o crescimento e desenvolvimento da mesma. Dentre os compostos orgânicos utilizados como substrato os esterco animais são os mais importantes, pela sua composição, disponibilidade e benefícios de aplicação (Maia, 2002).

Para o número de folhas de *Maytenus muelleri*, não houve diferença estatística entre os diferentes substratos utilizados. Estudos realizados por Cogo (2011), com duas cultivares de café, este verificou um valor médio de 9,0 folhas por planta da cultivar Catuaí Vermelho, já para a cultivar Mundo Novo, obteve um valor médio de 8,0 folhas por planta, verificando uma diferença média de um par de folhas entre as plantas no período de cultivo.

Medeiros et al. (2010), em estudos com pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) obteve uma resposta linear crescente de acordo com o acréscimo da dose de matéria orgânica, independente da sua fonte utilizada. Em relação aos substratos, Cogo (2011) em seu trabalho de crescimento de mudas de café (*Coffea arabica* L), os resíduos orgânicos adicionados ao solo promoveram uma porção de benéficos para o desenvolvimento da planta. Quando foram adicionados cama de aviário, esterco bovino de curral ou húmus de minhoca, para a melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, os benefícios foram proporcionais, melhorando com a adição de resíduos orgânicos.

Experimento 2 – germinação em diferentes concentrações de GA3 e em diferentes substratos.

Para a porcentagem de emergência, verificou-se diferença significativa para as concentrações de GA3 testadas, sendo as maiores médias verificadas nas concentrações 0 mg L⁻¹ (47,50%), 750 mg L⁻¹ (45,00%) e 1000 mg L⁻¹ (47,50%), as quais diferiram significativamente do tratamento 250 mg L⁻¹ (19,00%). Já em relação aos diferentes substratos utilizados não foi constatada diferença significativa (Tabela 2).

Os dados revelaram uma baixa porcentagem de emergência da espécie, os quais divergem dos resultados de Nicoloso et al. (2000), que em estudos de germinação com a espinheira-santa, obtiveram uma sobrevivência média de 60,80%. Alves et al. (2008) também relataram germinação de 98,00% no substrato vermiculita com a espécie mulungu (*Erythrina velutina* Willd.).

O substrato não influenciou nesta variável, dados estes semelhantes aos de Iossiet al. (2003) em experimentos de germinação com a espécie tamareira-anã (*Phoenix roebelenii* O'Brien) no qual o autor não obteve diferença na porcentagem de germinação em relação aos substratos utilizados.

Quanto à utilização de GA3 observou-se diferença estatística entre os tratamentos. Guimarães et al. (2010) utilizando GA3 em testes de germinação com a espécie *Thlaspi caerulescens* J. Presl & C. Presl relataram maiores valores de germinação para as sementes tratadas com o regulador vegetal. O mesmo autor afirma que o GA3 é responsável pelo aumento na atividade da α -amilase, a principal enzima que está relacionada ao processo de germinação, pois sua função é a degradação do amido que estão presentes na reserva da semente.

Para a variável comprimento do caule (cm) a análise estatística revelou que não houve interação significativa entre os fatores testados (Tabela 2). Taiz e Zeiger (2009) relataram que a giberelina promove efeito no alongamento do mesmo, contudo na espécie em estudo não foi possível observar a atuação da giberelina neste aspecto. Em trabalho realizado por Scalon et al., (2005) foi realizado teste de germinação com *Maytenus ilicifolia* Mart. submetida a tratamento pré germinativo com giberelina na concentração 250 mg.L⁻¹, o que propiciou um aumento no comprimento do caule, estando de acordo com relatos de Taiz e Zeiger (2009).

Tabela 2 – Porcentagem de emergência de sementes e comprimento de caule de *M. muelleri* com aplicação de diferentes concentrações de GA3 e uso de diferentes substratos. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2011.

Table 2 - Percentage of emergency seeds and stem length of *M. muelleri* with application of different concentrations of GA3 and use of different substrates. UTFPR Two Neighbors - PR, 2011.

Conc. GA3 (mg L ⁻¹)	Emergência (%)			Comprimento do caule (cm)		
	Substratos			Substratos		
	Verm.	Subs Org.	Média	Verm.	Subs Org.	Média
0	38,00	57,00	47,50A	1,76	1,53	1,64A
250	22,00	16,00	19,00B	1,81	1,24	1,52A
500	43,00	28,00	35,50AB	1,88	1,86	1,87A
750	47,00	43,00	45,00 A	2,00	1,76	1,88A
1000	47,00	48,00	47,50 A	1,98	1,5	1,74A
1250	28,00	28,00	28,00AB	2,09	1,32	1,70A
1500	37,00	31,00	34,00AB	2,11	1,43	1,77A
Média	37,43 a	35,86 a		1,95 a	1,52 a	
Teste de Bartlett (χ^2)	6,937			17,827		
CV (%)	27,23			19,27		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, para concentrações, e da mesma letra minúscula na linha, para substratos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
VERM. = vermiculita; SUBS. ORG. = substrato orgânico comercial.

Por meio da análise estatística não foi possível observar interação significativa entre os tratamentos e substratos testados, para a variável diâmetro do caule (mm), sendo as médias gerais de 0,77 e 0,80mm, para os substratos vermiculita e orgânico, respectivamente. Estes resultados são concordes com os relatados por Mariot et al. (2005) para a germinação de espinheira-santa, porém sem o tratamento com GA₃, no qual obtiveram para o diâmetro da base do caule de mudas em torno de 0,77 mm. Segundo Ferreira et al. (2007) o regulador vegetal não influenciou nesta variável em experimentos com maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* Sims.f. *flavicarpa* Deg), o que foi confirmado no presente trabalho para a variável em questão.

Tabela 3 – Diâmetro do caule de plântulas e número de folhas de *M. muelleri* com aplicação de diferentes concentrações de GA3 e uso de diferentes substratos. UTFPR, Dois Vizinhos – PR, 2011.

Table 3 - Diameter of stems of seedlings and number of leaves of *M. muelleri* with application of different concentrations of GA3 and use of different substrates. UTFPR Two Neighbors - PR, 2011.

Conc. GA3 (mg L ⁻¹)	Diâmetro do caule (mm)			Número de folhas		
	Substratos			Substratos		
	Verm.	Subs Org.	Média	Verm.	Subs Org.	Média
0	0,76	0,84	0,80 A	3,71 Aa	3,29 ABa	3,50
250	0,82	0,70	0,76 A	4,01 Aa	1,76 Cb	2,89
500	0,73	0,83	0,78 A	3,40 Aa	2,51 BCb	3,00
750	0,79	0,93	0,86 A	3,50 Aa	3,71 Aa	3,60
1000	0,78	0,79	0,78 A	3,89 Aa	2,85 ABb	3,37
1250	0,77	0,78	0,78 A	3,27 Aa	2,74 Ba	3,01
1500	0,77	0,75	0,76 A	3,34 Aa	3,04 ABa	3,19
Média	0,77 a	0,80 a		3,59	2,84	
Teste de Bartlett (χ^2)	20,872			15,489		
CV (%)	12,66			13,05		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna, para concentrações, e da mesma letra minúscula na linha, para substratos, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. VERM. = vermiculita; SUBS. ORG. = substrato orgânico comercial.

Porém em relação ao número de folhas foi verificada interação significativa entre os fatores, não sendo verificada diferença significativa entre as diferentes concentrações de GA₃ testadas na semeadura em substrato vermiculita. Para o substrato orgânico observou-se diferença significativa entre as concentrações 750 (3,71), 1250 (2,74) e 250 mg L⁻¹ (1,76) de GA₃ aplicadas. Entre os substratos verificou-se diferença significativa, sendo o substrato vermiculita superior ao substrato orgânico, nas concentrações 250 (4,01), 500 (3,40) e 1250 mg L⁻¹ (3,27) de GA₃.

A superioridade do substrato vermiculita na variável número de folhas pode ser explicado devido ao fato deste substrato apresentar grande capacidade de absorção e retenção de água, fatores que proporcionam uma melhor desenvolvimento da plântula. Estes resultados são contrários aos verificados anteriormente para a espécie em estudo, aonde o número de folhas foi superior em substratos oriundos de compostos orgânicos, conforme relatado por Lopes et al. 2008 e Kowalski et al. (2008).

Conclusão

A terra é o substrato mais indicado para a germinação da espécie.

As concentrações de 750 e 1000 mg L⁻¹ são as mais adequadas para a promoção da germinação da espécie, podendo ser utilizado qualquer um dos substratos testados.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação Araucária/UTFPR – Brasil.

Referências

- ALBERTON, M.D.; FALKNER, D.B.; FALKNER, M.B. 2002. Análise cromatográfica de fitoterápicos a base de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v.12, p.11-13.
- ALVES, E. D.; ANDRADE, L. A. de.; BARROS, H. H. A. de.; GONÇALVES, E. P.; ALVES, A. U.; GONÇALVES, G. S.; OLIVEIRA, L. S. B. de.; CARDOSO, E. A. de. Substratos para testes de emergência de plântulas e vigor de sementes *Erythrina velutina* Willd., Fabaceae. 2008. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.1, p.69-82.
- ALVES, E. U.; PAULA, R. C.; OLIVEIRA, A. P.; BRUNO, R. L. A. DINIZ, A. A. 2002. Germinação de sementes de *mimosa caesalpiniae folia* benth. em diferentes substratos e temperaturas. *Revista brasileira de Sementes*, Londrina, vol. 24, nº 1, p.169-178.
- CARVALHO, A.C.B.; BALBINO, E.E.; MACIEL, A.; PERFEITO, J.P.S. 2008. Situação do registro de medicamentos fitoterápicos no Brasil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v.18, n.2, p.314-319.
- CARVALHO, R.I.N.de; CARDON, L.M.; JAREMTCHUCK, C.C.; KANAWATE, E.N.; SILVA, J.E.C.da.2003. *Carqueja e espinheira-santa na região metropolitana de Curitiba*: da produção ao comércio. 1.ed. Curitiba: Life, 44p.
- COGO, F. D.; ALMEIDA, S. L. S.; VIEIRA, R. J.; LOPES, F. A. B.; CAMPOS, K. A.; RAMALHO, A. 2011. Crescimento de mudas de diferentes cultivares de cafeeiro em função da fertilização orgânica do substrato. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, vol.7, N.12, p. 1-9.
- EALBUQUERQUE, M.C.F. de; RODRIGUES, T.J.D.; MINOHARA, L.; TEBALDI, N.D.; SILVA, L.M.M. 1998. Influência da temperatura e do substrato na germinação de sementes de saguaraí (*Colubrina glandulosa* Perk. – RHAMNACEAE). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.20, n.2.
- FERREIRA, G.; COSTA, P. N.; FERRARI, T. B.; RODRIGUES, J. D.; BRAGA, J. F.; JESUS, F. A. de. 2007. Emergência e desenvolvimento de plântulas de maracujazeiro azedo oriundas de sementes tratadas com bioestimulantes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.595-599.
- FLORES, R.; STEFANELLO, S.; FRANCO E.T.H.; MANTOVANI, N. 1998. Regeneração in vitro de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* Mart.). **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.4, n.3, p.201-205.
- GOMES, J.L. et al. 1991. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em "Win-Strip". **Revista Árvore**, Vicosa, v15, p.35-42.
- GONÇALVES, E. P.; ALVES, E. U.; BRUNO, R. L.A.; FRANÇA, P. R. C. de.; SILVA, K. B.; GALINDO, E. A. 2007. Germinação e vigor de sementes de *Crataevatapia* L em diferentes substratos. *Acta Sci. Biol. Sci.*, Maringá, v.29, n.4, p.363-367.

- GUIMARÃES, M. A. de.; VIDIGAL, D. S. de.; LOUREIRO, M. E.; DIAS, D. C. F. de.; GUIMARÃES, A. R. 2010. Influência da temperatura, luz e giberelina na germinação de sementes de *Thlaspicraerulescens*J. Presl& C. Presl (Brassicaceae). **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.3, p. 372-376.
- IOSSI, E.; SADER, R.; PIVETTA, K. F. L.; BARBOSA, J. C. 2003.Efeitos de substratos e temperaturas na germinação de sementes de tamarreira-anã(*Phoenix roebelenii*O'Brien). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, vol. 25, nº 2, p.63-69.
- KOWALSKI, A. P. J. de; SIGNOR, D.; MACHADO, E. M.; BIAISI, L. A.; LIMA, D. M. de. 2008. Influência da qualidade da semente e do tipo de substrato na formação de mudas de espinheira-santa. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.1, p.15-20.
- LIMA, D. M. de. Caracterização e produção de mudas de espinheira-santa (*Maytenus muelleri* Schwacke). Sistemas de produção agropecuária (Ciências Agrárias, Animais e Florestais). Dois Vizinhos: UTFPR, 2010. 406 p.
- LIMA, J. F. de.; FONSECA, V. J. A. de.; MORAES, J. C. de.; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO, C. P. 2009. Germinação de sementes pré-embebidas e crescimento de plantas de *Artocarpus heterophyylus* Lam.**Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.6, p.437-441.
- LIMA, R. L.S.; SEVERINO, L.S.; SILVA, M.I.L.; JERÔNIMO, J.F.; VALE, L.S.; BELTRÃO, N.E.M. 2006. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica, **Ciência eagrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 474-479.
- LOPES, J.C.; MATHEUS, M.T.; CORRÊA, N.B.; SILVA, D.P. 2008.Germinação de sementes de embiruçu (*pseudobombaxgrandiflorum*(cav.) a. robyns) em diferentes estádios dematuração e substratos. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 331-337.
- LORENZI, H. 2008. *Plantas medicinais no brasil*, 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 544 p.
- LORENZI, H. 2002. *Árvores Brasileiras*, 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 367 p.
- MAIA, E. L. **Decomposição de esterco em Luvisolo no semi-árido da Paraíba**. 2002. 35f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Patos-PB, 2002.
- MARIOT, M.P.; BARBIERI, R.L. 2006.**Espinheira-santa**: uma alternativa de produção para a pequena propriedade. Pelotas: Embrapa. 30p. (Documento).
- MARIOT, M. P.; BARBIERI, R.L.; SINIGAGLIA, C.; BENTO, L. H.; RIBEIRO, M. V. 2005. Presença do arilo na produção de mudas de *Maytenus ilicifolia*. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.468-470.
- MEDEIROS, K. A.A.L.; SOFIATTI, V.; SILVA, H.; LIMA, R.; LUCENA, A. M. A.; VASCONCELOS, G.C.; ARRIEL, N. H. C. Mudanças de pinhão manso (*Jatropha curcas*L.) produzidas em diferentes fontes e doses de matéria orgânica. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4& SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 1413-1419.
- MELO, B.; MENDES A.N.G.; GUIMARÃES, P.T.G. 2003. Tipos de fertilizações e diferentes substratos na produção de mudas de cafeeiro (*coffea arábica* L.) em tubetes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.1, p.33-42.
- NICOLOSO, F.T.; FORTUNATO, R.P.; ZANCHETTI, F.; CASSOL, L.F.; EISINGER S.M. 2000. Recipientes e substratos na produção de mudas de *Maytenus ilicifolia* e *Apuleia leiocarpa*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.987-992.
- PEREIRA, P. C.; MELO, B.; FREITAS, R. S.; TOMAZ, M. A.; FREITAS, C. J. P. 2010. Mudanças de tamarindeiro produzidas em diferentes níveis de matéria orgânica adicionada ao substrato, **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.3, p. 152 – 159.
- SCALON, S.P.Q.; RAMOS, M.B.M.; VIERA, M.C. 2005. Germinação de sementes de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex.Reiss: armazenamento, embalagens e tratamentos pré germinativos. **Revista Brasileira de Plantas Medicinal**, Botucatu, v.7, n.2, p.32-36.
- SOUZA, N.H.; CARNEVALI, T.O.; RAMOS, D.D.; SCALON, S.P.Q.; MARCHETTI, M.E.; VIEIRA, M.C. 2011. Produção de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum*L.) em diferentes substratos e luminosidades. **Revista Brasileira de Plantas Medicinal**, Botucatu, v.13, n.3, p.276-281.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2004. *Fisiologia vegetal*,3. ed. Porto Alegre: Artmed, 719 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2009. *Fisiologia vegetal*,4. ed.Porto Alegre: Artmed, 848 p.
- WENDLING, I.; DUTRA, L.F.; GROSSI, F. 2006.**Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa, 55p. (Documento).

ANÁLISIS DE DIVERSIDAD GENÉTICA EN ENSAYOS DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* INSTALADOS POR INTA EN LA MESOPOTAMIA

GENETIC DIVERSITY ANALYSIS IN *Pinus Caribaea* var. *hondurensis*'s TRIAL INSTALLED IN THE MESOPOTAMIC REGION

Schmid PG¹, García MN², Gauchat ME¹, Gallo L³, Marcucci Poltri S².

¹INTA EEA Montecarlo, Pcia de Misiones.

²INTA Castelar IB, Pcia de Buenos Aires.

³ INTA EEA Bariloche, Pcia de Rio Negro. pschmid@montecarlo.inta.gov.ar

Resumen

La actividad de mejoramiento genético forestal en plantaciones con especies de conífera exóticas de rápido crecimiento implica varias instancias de selección del material donde puede reducirse la variabilidad genética. El objetivo del presente estudio fue analizar la variabilidad genética presente en ensayos de INTA instalados en la Mesopotamia de la especie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. La población constituida por 169 individuos fue evaluada mediante doce marcadores moleculares microsatélites desarrollados originalmente para *P. taeda*. La diversidad genética promedio de la muestra de la plantación fue relativamente menor a lo reportado en la literatura para esta especie u otras del mismo género. No fue posible detectar estructura genética mediante análisis Bayesianos (STRUCTURE) lo que podría indicar que en la población analizada los individuos poseen una composición genética similar. Este estudio sugiere que la población evaluada posee niveles de diversidad genética representativa del área de distribución natural de la especie.

Palabras clave: Microsatélites, Marcadores Moleculares, Variabilidad Genética.

Summary

Breeding of exotic tree species involves several steps of selection in which genetic variation could be reduced. The objective of the study was to analyze the genetic variability in a sample of local INTA's plantations of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in the Mesopotamia region. The analyzed population involved 169 individuals, and was evaluated with 12 microsatellites originally developed for *P. taeda*. The average diversity of the plantation was slightly lower than the data published in the literature for the same species or another species of the same genera. No genetic structure was found by Bayesian analysis (STRUCTURE), This could indicate that the population sampled individuals have a similar genetic composition. This study suggests that the selected population has a genetic diversity level which is representative of the species from the natural range.

Key Words: Microsatellite, Molecular Marker, Genetic Variability.

Introducción

El Mejoramiento Genético Forestal consiste en el desarrollo de poblaciones o individuos genéticamente superiores, a partir de poblaciones amplias y diversas (Zobel & Talbert 1984). Las poblaciones de mejoramiento a largo plazo deben tener capacidad de poder

*15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.
7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina*

afrontar cambios en el medio que los rodea, así como también contener información genética que permita sostener nuevas demandas de la industria y el mercado. La diversidad genética es la materia prima para cualquier programa de mejoramiento. Para esto es deseable que exista un programa de mejora que controle y gestione la diversidad genética. (El-Kassaby & Ritland 1996). La creciente demanda de madera y sus productos, y la tendencia mundial hacia la conservación y preservación de los ecosistemas naturales, con restricciones en el uso de madera procedente de bosques tropicales nativos, lanzan un reto a la actividad forestal, lo que representa un aumento de la producción industrial con un mínimo impacto ambiental (Motta Da Silva, 2005). Las especies del género *Pinus* son ampliamente utilizadas, debido a su gran adaptación a diferentes regímenes climáticos y a la amplia aplicación de sus productos (Sebbenn *et al.* 1994). El INTA, desde principios de la década del 60 desarrolla su actividad en investigación forestal en especies exóticas. Los resultados de estas experiencias en la región mesopotámica, constataron la adaptabilidad de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*, revelando además la potencialidad de otras especies como *Pinus caribaea* (Fahler, 1986). *Pinus caribaea* Morelet es una conífera tropical importante, por más de 70 años ha sido extensivamente usada como especie de plantación industrial en el área de distribución natural, y como exótica en áreas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Zheng & Ennos 1999).

Marcadores Microsatélites

Los marcadores genéticos representan diferencias genéticas entre individuos o especies. Generalmente no representan al gen de interés en sí mismo, pero actúan como “señales” o “marcadores” de posición del gen, al estar cerca de éste (Collard *et al.* 2005). Los microsatélites o también llamados Secuencias Simples Repetidas (SSR), son motivos de repeticiones en tándem de uno a seis pares de bases y pueden estar presentes tanto en regiones codificantes como no codificantes del genoma (Zane *et al.* 2002). Las regiones que contienen secuencias simples repetidas (SSRs) son amplificadas individualmente a través de la técnica de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) (Mullis *et al.* 1990), a partir de un par de oligonucleótidos de diseño específico. La caracterización, evaluación y manejo de la variabilidad genética en poblaciones de mejora y producción integran áreas de aplicación donde los marcadores de ADN neutros ofrecen mayor utilidad (Marcucci Poltri *et al.* 2010). Los microsatélites nucleares son generalmente usados para detectar estructura genética de poblaciones y procesos poblacionales y demográficos (Gonzalez-Martinez *et al.* 2006). La incorporación de técnicas moleculares en los programas de mejora, procura optimizar la estructura de las poblaciones, incrementar la información necesaria para decidir sobre la infusión de nuevos materiales y mejorar las estrategias de selección (Marcucci Poltri 2005, *et al.* 2010).

Materiales y métodos

El material vegetal provino de una población de *P. caribaea* var. *hondurensis* compuesta por 169 individuos, las semillas que originaron los ensayos provinieron de la Escuela Nacional de Ciencias Forestales- Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal, Honduras (ESNACIFOR-CHODEFOR), actual Instituto Forestal de Oxford de Inglaterra. El ADN genómico de los individuos fue extraído de las acículas basado en el buffer de extracción CTAB (bromuro de hexadeciltrimetilamonio). La amplificación enzimática de los microsatélites fue realizado mediante la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) con microsatélites de la serie PtTX. Fue puesta a punto la metodología de análisis utilizando el Secuenciador automático de Capilares ABI 3130xl, Genetic Analyzer (Applied Biosystems®, USA), perteneciente a la Unidad de Genómica del Instituto de Biotecnología

(CYCVyA-INTA). Los fragmentos amplificados fueron analizados con el programa GeneMapper® 4.0.

Estimación de la Diversidad Genética General

Los siguientes estimadores fueron calculados mediante el programa GenAlEx 6.4 (Peakall & Smouse 2006): Número Efectivo de Alelos (N_e), Heterocigosidad Esperada (H_e), Heterocigosidad Observada (H_o), Índice de Fijación (F), Probabilidad de Identidad (PI), Alelos privados. La Riqueza alélica fue estimada con FSTAT.

Para estimar la probabilidad de pertenencia de cada individuo a distintos grupos genéticos y el número de estos grupos o *clusters* (k) dentro de la población, se utilizó el programa STRUCTURE 2.3.3, mediante análisis Bayesiano sin pre-adjudicación de estructura genética.

Resultados y Discusión

Desde el advenimiento de los marcadores moleculares, los marcadores de ADN tales como los microsatélites han demostrado ser una herramienta valiosa para analizar genomas y para revelar diversidad genética en especies forestales (Scotti *et al.* 1999, Victoria *et al.* 2011). La detección de la diversidad genética y su estructura en las poblaciones es facilitada por el alto polimorfismo de este tipo de marcador, que incluso permite identificar a cada individuo como tal, con pocos *loci*.

Fueron analizados el 96,56 % de todos los individuos que fueron posibles amplificar mediante once marcadores microsatélites polimórficos que resultaron transferibles (uno resultó ser monomórfico). El número de individuos analizados osciló desde 156 individuos a 168 (**Tabla 1**). De los once microsatélites polimórficos analizados, los más informativos fueron: **PtTX3030** y **PtTX3116**, los valores de PIC fueron 0,8 y 0,84 respectivamente, el poder de discriminación de ambos resultó elevado (Smith *et al.* 1997; Bostein, 1980), estos *loci* también se destacaron en riqueza alélica (A), que estima las variantes alélicas presentes en los *loci* de la población, la media fue de 6,10 (DE 3,62), ligeramente inferior al número de alelos encontrado: **PtTX3116** presentó el valor de 16 y **PtTX3030** el valor de diez. El número de alelos (NA) total en los once *loci* fue de 85, siendo el mínimo de tres (**PtTX2123-PtTX2128**) y el máximo de 16 (**PtTX3116**) con una media de 7,7 (DE 1,1), seguido por los *loci* **PtTX3030** con un valor de diez, y finalmente los *loci* **PtTX3098**, **PtTX3107** y **PtTX4018** con nueve.

<i>Locus</i>	N	PIC	NA	Ne	A	PI	Ho	UHe
PtTX2123	160	0,44	3	2,06	3	0,31	0,55	0,52
PtTX2128	161	0,24	3	1,39	3	0,55	0,33	0,28
PtTX3013	159	0,56	7	2,68	7	0,20	0,56	0,63
PtTX3025	156	0,63	6	3,30	6	0,15	0,47	0,70
PtTX3030	168	0,80	10	5,68	10	0,05	0,62	0,83
PtTX3098	163	0,46	9	2,07	9	0,29	0,62	0,52
PtTX3107	168	0,57	9	2,62	9	0,19	0,62	0,62
PtTX3116	165	0,84	16	7,22	16	0,03	0,81	0,86
PtTX4018	165	0,61	9	2,83	9	0,16	0,78	0,65
PtTX4092	167	0,68	8	3,76	8	0,12	0,83	0,74
PtTX4098	164	0,31	5	1,54	5	0,46	0,38	0,35
Media	163	0,49	7,7	3,19	6,10	0,11	0,59	0,60
DE	4	0,19	1,1	0,54	3,62	0,16	0,05	0,05

Tabla 1: Variabilidad Genética de la población analizada.

Se describe: **N**: número de individuos sin datos perdidos, **PIC**: contenido de información polimórfica, **NA**: número de alelos, **Ne**: número efectivo de alelos, **A**: riqueza alélica estandarizada para 156 individuos, **PI**: probabilidad de identidad, **Ho**: heterocigosidad observada y **UHe**: heterocigosidad esperada no sesgada

Table 1: Genetic variability in the population analyzed.

Description **N**: number of individuals without missing data. **PIC** polymorphic information content, **NA**: number of alleles, **Ne**: effective number of alleles. **A**: allelic richness standardized for 156 individuals, **PI**: identity probability, **Ho**: observed heterozygosity and **UHe**: unbiased expected heterozygosity

El número efectivo de alelos (N_e) para los *loci* analizados halló su menor valor en **PtTX2128** (1,39), siendo congruente con el bajo número de alelos que también fue hallado en este *locus* (tres alelos), mientras que el mayor N_e (número efectivo) corresponde al *locus* **PtTX3116** ($N_e = 7,22$). La conservación de la diversidad genética es esencial por muchas razones. Entre ellas se encuentran la adaptación de las poblaciones a los cambios ambientales, los riesgos de la depresión por endogamia en la viabilidad de la población, y la necesidad de mantener los recursos genéticos para su posible uso futuro. El valor medio de H_o calculado para los once marcadores microsatélites polimórficos fue de 0,597 (DE 0,050), la media de la Heterocigosidad esperada no sesgada (UHe) fue de 0,608 (DE 0,055). Los niveles medios de diversidad genética observados en la población de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* analizada, son típicos y levemente inferiores al de una especie forestal y predominantemente alógama ($H_e \sim 0,76$, Hamrick *et al.* 1992). Concuerdan parcialmente con los valores medios obtenidos en otras poblaciones de la especie analizadas con el mismo tipo de marcador molecular. Según Andrade-Furlan *et al.* (2007) la variabilidad genética de 80 árboles procedentes del área de distribución natural reveló valores de medios de H_o similares (0,24 según Brown & Weir 1983) cuantificados a través de ocho microsatélites. Según lo reportado por Shepherd *et al.* (2002) la H_o fue de 0,49, estimada a partir de 29 SSR, pero en este caso la estimación estuvo basada en un tamaño muestral de cinco individuos provenientes de plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Australia. Los datos reportados por Delgado *et al.* (2011) en dos poblaciones naturales ($N = 14$ y $N = 60$) remanentes y marginales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en México con seis SSR, revelaron valores aún más bajos de H_o : 0,422 (DE

0,21). Con respecto al número medio de alelos encontrados en la población total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (7,7 alelos, DE 1,1. **Tabla 1**), fue similar a los reportados para otras especies de pinos. En general los resultados reportados podrían indicar una diversidad genética comparable y algo inferior con respecto a otras especies dentro del género en comparación a la población analizada de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. (**Tabla 1**). En las especies forestales existe una fuerte relación de la diversidad genética y el rango geográfico de la especie (Hamrick *et al.* 1992). Grandes tamaños poblacionales reduce la susceptibilidad a la deriva genética evita la pérdida de diversidad genética e incrementa la diversidad dentro de las poblaciones. El área de distribución natural de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* se encuentra restringida a una pequeña porción de América Central y su distribución es discontinua.

El análisis del valor más probable de k según el estadístico definido por Evanno *et al.* (2005) mediante análisis bayesiano, sin pre adjudicación de poblaciones (STRUCTURE 2.0), no permitió hallar una estructura genética entre los individuos analizados en esta población. Esto indica que el valor de k óptimo es uno y por lo tanto no se diferencian poblaciones genéticas. En todos los k analizados se encontró el mismo tipo de patrón sin poder distinguir grupos genéticos (figura 1). No fue posible detectar diferenciación genética entre los individuos analizados esto quiere decir que todos los individuos poseen una composición genética similar y la contribución genética es similar en todos los individuos. Esto sugiere que la población examinada podría ser considerada como un único linaje (Hu *et al.* 2008). La escasa diferenciación genética en la población puede ser explicada debido a un flujo génico extensivo entre las poblaciones (Dvorak *et al.* 2005). Además estudios paleoclimáticos realizados en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sugieren que la especie se encontraba ampliamente distribuida en un pasado no muy lejano (Dvorak *et al.* 2005, Jardon-Barbolla *et al.* 2011). Según esta aproximación, el rango de distribución de la especie pudo haber contribuido a la escasa diferenciación genética encontrada en la población analizada.

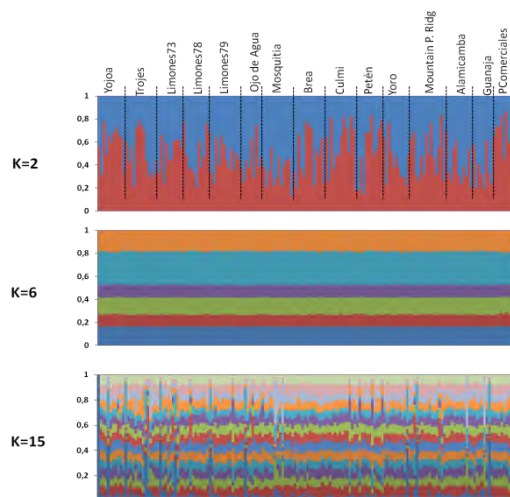


Figura 1: Estructura genética de la población.

Cada individuo está representado por una línea vertical delgada, que se divide en k segmentos coloreados que representan la fracción de participación de cada individuo en k clusters. Los individuos se encuentran ordenados de acuerdo al origen geográfico/temporal.

Figure 1: Population genetic structure.

Each individual is represented by a thin vertical line, which is divided into k colored segments that represent the fraction of participation of each individual in k clusters. Individuals are sorted according to geographical origin/temporal.

Conclusiones

Los microsatélites que provienen de zonas genómicas de bajo número de copias o baja metilación son altamente transferibles y útiles para análisis de diversidad en especies del género *Pinus*.

Los resultados de diversidad genética estimada con marcadores microsatélites en las poblaciones analizadas y los datos bibliográficos, sugieren que la introducción inicial presenta una ligera reducción de la diversidad genética que puede deberse al proceso de muestreo inicial y/o a la historia evolutiva de la especie.

Los marcadores microsatélites son herramientas útiles para el monitoreo de la variabilidad genética en las diferentes etapas de mejoramiento genético forestal.

Bibliografía

- Andrade Furlan R**, Seizo Mori E, Tambarussi Vagner E, Bueno de Moraes C, Almeida de Jesús F, Zimback L. 2007. Estructura genética de populações de melhoramento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* por meio de marcadores microsatélites. *Bragantia*; 66: 553-563.
- Botstein D**, White RL, Skolnick M, Davis RW. 1980. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American journal of human genetics*; 32: 314- 331.
- Brown AD.**; Weir BS. 1983. Measuring genetic variability in plant population. En: Tanksley, S. D., Orton, T. J. (Eds.). *Isoenzymes in plant genetics and breeding*. Amsterdam: Elsevier Science; 219- 239.
- Collard BC**, Jahufer MZ, Brouwer JB, Pang EC. 2005. An introduction to markers quantitative trait *loci* (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica*; 142: 169-196.
- Delgado P**, Piñero D, Rebolledo V, Jardón L, Chi F. 2011. Genetic variation and demographic contraction of the remnant populations of Mexican Caribbean pine (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*: *Pinaceae*). *Annals of Forest Science*; 68: 121- 128.
- Dvorak W**, Hamrick L, Gutierrez E. 2005. The Origin of Caribbean Pine in the Seasonal Swamps of the Yucatán. *Int. J. Plant. Sci*; 166: 985- 994.
- El-Kassaby Y**, Ritland K. 1996. Impact of selection and breeding on the genetic diversity in Douglas fir. *Biodiversity and Conservation*; 5: 185- 194.
- Fahler J**. 1986. Comportamiento de variedades y orígenes de *Pinus caribaea* en tres sitios diferentes del nordeste argentino. Datos analizados a los 4 años de edad. Informe Técnico n° 48. INTA E.E.A. Montecarlo, Misiones, Argentina.
- Gonzalez-Martínez S**, Ersoz E, Brown GR, Wheeler NC, Neale DB. 2006. DNA Sequence Variation and Selection of Tag Single-Nucleotide Polymorphisms at Candidate Genes for Drought-Stress Response in *Pinus taeda* L. *Genetics Society of America*; 172: 1915- 1926.
- Hamrick J**, Godt M, Sherman-Broyles S. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests*; 6: 95- 124.
- Hu LJ**, Uchiyama K, Shen, Saito Y, Tsuda Y, Ide Y. 2008. Nuclear DNA microsatellites reveal genetic variation but a lack of phylogeographical structure in an endangered species, *Fraxinus mandshurica*, across North-east China. *Annals of botany*; 102: 195- 205.
- Jardon-Barbolla L**, Delgado-Valerio P, Geada-López G, Vazquez-Lobo A, Piñero D. 2011. Phylogeography of *Pinus* subsection *Australes* in the Caribbean Basin. *Annals of Botany*; 107: 229- 241.
- Marcucci Poltri S**. 2005. Marcadores Moleculares aplicados a Programas de Mejoramiento Genético de Eucaliptos. En: *Mejores Árboles Para Más Forestadores*; 223-230.
- Marcucci Poltri S**, Gallo L, Zelener N, Torales S, Sharry S. 2010. Parte V: Ejemplos de aplicaciones de la biotecnología vegetal. En: *Biotecnología y Mejoramiento vegetal II* (p. 435).
- Motta da Silva, J**. 2005. Análises genéticas em progênes de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares. Tesis de Maestría. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, San Pablo, Brasil.
- Mullis K**. 1990. The unusual origin of the polymerase chain reaction. *Scientific American*; 56-65.
- Peakall R**, Smouse P. 2006. GENALEX 6.4: Genetic Analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*; 6: 288– 295. http://www.anu.edu.au/BoZo/GenALEX/genalex_download.php.
- Scotti I**, Paglia G, Magni F, Morgante M, Vegetale P. 1999. Microsatellite markers as a tool for the detection of intra and interpopulational genetic structure. En: *Which DNA marker for which purpose?*. <http://webdoc.gwdg.de/ebook/y/1999/whichmarker/>
- Shepherd M**, Maguire T, Cross M, Dieters J, Williams G, Henry J. 2002. Transpecific microsatellites for hard pines. *TAG*; 104: 819- 827.
- Sebbenn A**, Pires C, Stork L, Custodio A. 1994. Variação genética em progênes de meios irmãos de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis* Bar. et. Gol. na Região de Bebedouro-SP. *Rev. del Inst. Flor*; 6: 63– 67.

- Smith JS**, Chin ECL, Shu H, Smith OS, Wall SJ, Senior ML, Mitchell SE, Kresovich S, Ziegler J. 1997. An evaluation of the utility of SSR *loci* as molecular markers in maize (*Zea mays* L.): comparisons with data from RFLPs and pedigree. TAG; 95: 163-173.
- Victoria F**, da Maia L, de Oliveira A. 2011. In silico comparative analysis of SSR markers in plants. BMC plant biology; 11:1-15.
- Zane L**, Bargelloni, L Patarnello T. 2002. Strategies for microsatellite isolation: a review. Molec Ecol; 11:1-16.
- Zheng Q**, Ennos RA. 1999. Genetic variability and structure of natural and domesticated populations of Caribbean pine (*Pinus caribaea* Morelet). TAG; 765-771.

POSSIBILIDADES DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMPLEXOS E SIMPLIFICADOS EM UMA REGIÃO AGRÍCOLA, O SUDOESTE PARANÁ.

POSSIBLE IMPLEMENTATION OF AGROFORESTRY COMPLEX AND SIMPLIFIED IN AN AGRICULTURAL REGION, THE SOUTHWEST PARANA.

Dall’Agnol, A.A¹; Ludvichak, A.A²; Pereira, P.H²; Silva, V. M da¹; Nunes, S.P³;

¹ Acadêmica de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *Campus* Dois Vizinhos-PR. E-mail: aninha.dallagnol@yahoo.com.br

² Acadêmicos de Engenharia Florestal, bolsistas do grupo PET-Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Dois Vizinhos-PR.

³ Professor Msc. da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - *Câmpus* Dois Vizinhos. E-mail: sidemarnunes@hotmail.com

Resumo

Os sistemas agroflorestais são caracterizados como a combinação de elementos arbóreos com herbáceas e/ou animais. No entanto, ainda há a necessidade de estudos e orientação aos agricultores para que estes incrementem esse sistema em suas propriedades de maneira correta. Dentro do grupo sistemas agroflorestais existem sistemas mais “complexificados”, com maior biodiversidade, e os consórcios com poucas espécies, considerados sistemas “simplificados”. Através deste, buscamos desenvolver novas maneiras de otimizar a produção das propriedades, além de melhorar qualidade de vida do produtor. Pela idéia ser inovadora há uma grande resistência dos agricultores. O objetivo deste trabalho é analisar a possibilidade de implantar sistemas agroflorestais complexos e simplificados mostrando a viabilidade destes para a região Sudoeste do Paraná. A utilização de sistemas agroflorestais aparece como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável florestal que contempla a otimização do uso de um espaço para a inserção de árvores.

Palavras-chaves: consórcio, biodiversidade, desenvolvimento sustentável, otimização de renda.

Summary

Agroforestry systems are characterized as a combination of trees with herbaceous elements and / or animals. However, there is still a need for studies and guidance to farmers to incrementem this system on their property correctly. Within the group agroforestry systems are more "complexificados" with greater biodiversity, and consortia with a few species, considered systems "simplified." Through this, we develop new ways to optimize the production of the properties, and improve quality of life of the producer. The idea being innovative is a strong resistance from farmers. The aim of this paper is to analyze the possibility of implanting agroforestry complex and simplified to show the viability of the Southwest region of Parana. The use of agroforestry systems appears as an alternative to develop sustainable forestry which includes the optimization of a space for the inclusion of trees.

Key Words: consortium, biodiversity, sustainable development, optimization of income

Introdução

Atualmente existem diversos conceitos para definição de um sistema agroflorestal (SAF), sendo o conceito elaborado pelo ICRAF (Centro Internacional de Pesquisas em Sistemas Agroflorestais) o mais difundido, o qual define SAF como toda combinação de elementos arbóreos com herbáceas e animais distribuídos concomitantemente no mesmo espaço (PENNEREIRO, 1999).

Com a ampla difusão do desenvolvimento sustentável, os sistemas agroflorestais vêm se tornando um importante aliado na produção agrícola ecologicamente correta. Os Sistemas agroflorestais por sua vez se destacam por possuir uma similaridade com o meio natural quando comparado aos sistemas convencionais de produção agrícola e animal (PENNEREIRO, 1999).

De maneira geral, a maior parte dos agricultores desenvolve sistemas de produções simples (convencional), e estão habituados com poucas práticas culturais, o que dificultaria a adoção de sistemas agroflorestais. No entanto, não se trata de um problema prático enfrentado somente pelos agricultores, mas também por técnicos e pesquisadores.

Há diferentes metodologias de sistemas agroflorestais, entre os quais temos o sistema silvipastoril, com o consórcio de animais com árvores, e o sistema agrossilvicultural com o consórcio de plantas anuais com árvores. Além desta subdivisão temos os sistemas mais “complexos” com maior biodiversidade, e os consórcios com poucas espécies, considerados sistemas “simplificados” (HOFFMANN, 2005).

Os sistemas complexificados são mais estáveis, equilibrados, com alta biodiversidade de espécies, apresentam todos os estratos de uma floresta, oferecendo assim, grande interação entre organismos, relações estas que assemelham o sistema com o ambiente encontrado na natureza. Método este, que o produtor aprende a manejar observando os resultados, agregando assim, muito conhecimento para planejar o manejo de diversas espécies implantadas em uma mesma área. Já os sistemas simplificados são mais instáveis, tem como base o consórcio de poucas espécies, sendo assim mais vulneráveis a alterações do meio, porém o manejo é simplificado.

A produção agropecuária predominante da região é caracterizada por pequenos produtores dependentes da mão-de-obra familiar, e que em conjunto com os pesquisadores e extensionistas possuem pouco conhecimento sobre o desenvolvimento de SAF's.

Pelo fato dos sistemas florestais serem inovadores na região Sudoeste do Paraná e considerando que tanto a Universidade quanto a ONG Assesoar, em parceria, tem procurado estimular o desenvolvimento de SAF's, bem como a baixa consolidação encontradas nas primeiras agroflorestas estimuladas pela Assesoar, a questão que se apresenta diz respeito acerca da viabilidade da introdução de sistemas complexos ou simplificados. Ou seja, se a iniciativa deveria de imediato estimular o desenvolvimento de sistemas agroflorestais que combinem grande número de espécies, estratos e, em consequência, um manejo mais complexo, ou se deveria iniciar por sistemas mais simples, com número de espécies mais reduzido e de manejo simples, que possibilitasse um aprendizado que permitisse evoluir para sistemas mais complexos. Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar as possibilidades de implantar sistemas agroflorestais complexos e simplificados na região Sudoeste do Paraná.

Materiais e Métodos

Realizadas as análises dos diferentes modelos de sistemas agroflorestais, buscou-se maiores informações na literatura a fim de reunir conhecimentos a partir de trabalhos

desenvolvidos com sistemas complexos e sistemas simplificados para responder algumas questões como: a) quais as vantagens e desvantagens de implantar os diferentes modelos de SAF na região sudoeste do Paraná? b) Os SAF's simplificados podem contribuir para viabilizar a implantação de sistemas agroflorestais? Estes sistemas simplificados poderiam gerar aprendizado para evoluir, em um estágio seguinte, para sistemas mais complexos?

Para o desenvolvimento deste estudo houve a união de conhecimentos adquiridos através de pesquisas, palestra e curso ministrados por Ernst Gotsch, além de parcerias com Assesoar, que possibilitou novas oportunidades para visitas técnicas e troca de informações entre agricultores e pesquisadores.

Resultados e Discussão

Sistema agroflorestal “simplificado”

A agricultura do século XXI segue o princípio do industrialismo, onde, percebe-se claramente a simplificação da produção agrícola (PENEIREIRO, 1999). Esta mesma idéia pode ser percebida nos sistemas agroflorestais, principalmente quando se faz um sistema extenso e homogêneo com consórcio de poucas espécies – sistema simplificado. Ressalta-se também que o sistema simplificado não busca a sincronia com o fenômeno da sucessão natural, portanto o termo “florestal”, aplica-se apenas à produção de certa espécie florestal.

Este sistema é composto por poucas interações entre organismos, onde há geralmente uma única espécie principal, e uma ou poucas espécies secundárias, distribuídas simultaneamente. Logo, o manejo do sistema fica relativamente simples, pois há apenas uma junção da espécie principal com as espécies secundárias, isso favorece os produtores uma vez que exige menor mão-de-obra para o manejo do sistema.

O sistema simplificado apresenta-se ainda como um processo instável, sem muito equilíbrio, já que possui baixa biodiversidade, com isso torna-se necessário a utilização de fertilizantes, biocidas, entre outros, pois as interações estão susceptíveis ao ataque de pragas e doenças, assim como uma leve degradação do solo. Porém, qualquer sistema agroflorestal é mais complexo ecologicamente do que sistemas de monocultivos, sendo assim vantajoso ao produtor consorciar algumas espécies em uma mesma área embora que sejam poucas, às quais já resultam em uma diversificação de produtos a oferecer ao mercado (MULLER, s/a) e conseqüentemente um acréscimo na renda.

Sistema Agroflorestal “complexificado”

Este sistema é assim denominado de “complexificado” por possuir um maior grau de associações dentro do sistema, diversas espécies ocupando todos os estratos florestais, conseqüentemente o sistema apresenta um manejo mais cauteloso, o qual exige um conhecimento maior do produtor quanto às relações das espécies envolvidas, porém permite a este dar mais criatividade ao seu sistema, possibilita uma alta diversificação da produção e uma maior flexibilidade do sistema ao mercado, fornecendo assim uma certa segurança ao produtor.

Neste sistema o produtor é tido como um pesquisador e observador dos seus resultados, adquirindo assim a capacidade e o conhecimento necessário para fazer ajustes no sistema, com maior possibilidade de evolução do sistema, pois, permitem a seleção natural das espécies desejadas nas condições encontradas a campo, esta capacidade de entender o seu sistema produz uma satisfação pessoal aos produtores e melhora a qualidade de vida deste no campo (MILLER, s/a).

Uma característica marcante no sistema é o adensamento de espécies, o que contribui significativamente para um maior equilíbrio ecológico, proporcionando assim, maior estabilidade ao sistema, resultando em uma menor intervenção com produtos industrializados, seja eles biocidas ou fertilizantes (MILLER, s/a).

Segundo Miller (s/a.) a diversidade de espécies proporciona uma utilização dos recursos (água, luz e nutrientes) de forma mais eficiente, pois as espécies são de ciclos diferenciados, apresentam exigência em períodos distintos, esta diferença de ciclo pode também proporcionar um maior equilíbrio entre as pragas e seus inimigos naturais, devido à natural sincronização com a sucessão natural.

Sabe-se que o equilíbrio entre pragas e plantas depende muito da diversidade de organismos vivos, pois são fundamentais para abrigo de inimigos naturais das pragas, contribuem no fornecimento de alimentos alternativos para eles durante períodos de escassez de praga, fornece refúgios para ovoposição, além de manter as populações de praga em níveis aceitáveis para assegurar a sobrevivência contínua dos insetos benéficos, (ALTIERI, 1994 *apud* MILLER, s/a.).

Muitas pessoas se preocupam com a competição entre espécies, mas, segundo Ernest Gotsch a competição entre seres vivos vem sendo tratada de forma negativa entre os sistemas de produção, quando ela na verdade deve ser vista como uma aliada, pois as interações entre espécies contribuem para a estabilidade do sistema e conseqüentemente o seu sucesso, sendo que muitas espécies aumentam o acúmulo de biomassa no solo, além do equilíbrio entre pragas. Destacando que no desenvolvimento de um sistema com alta biodiversidade, não há competição entre as espécies que compõem os consórcios, e sim benefícios mútuos, desde que não ocupem o mesmo estrato e a mesma função no meio ao mesmo tempo. Por isto, o produtor ao planejar os consórcios deve prestar muita atenção nestes detalhes, para não lhe acarretar prejuízos (PENEIREIRO, 1999; MILLER, s/a).

Em uma pesquisa feita por Wandelli et al. 2004 *apud* Miller, s/a demonstrou que os sistemas agroflorestais com maior biodiversidade, sendo estes adaptados às condições bióticas e abióticas do meio encontrado, e com manejo adequado da matéria orgânica através da utilização de adubação verde, obtiveram maior produtividade que os outros sistemas o que comprova que um sistema bem gerenciado e quando utilizadas as espécies de maneira planejada estas podem contribuir para o equilíbrio do processo, gerar bons frutos, sem que haja a competição entre espécies.

Conclusão

A utilização de sistemas agroflorestais aparece como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável florestal que contempla a otimização do uso de um espaço para a inserção de árvores, herbáceas e/ou animais. Algo que vem sendo buscado novamente pela sociedade e que de certa forma beneficia os pequenos proprietários que podem aproveitar melhor sua propriedade e ter uma fonte de renda diferenciada, além de trazer diversos benefícios ambientais, como: aumento da diversidade de espécies, proteção do solo e do manancial hídrico. Para os que desejam implementar algo desse gênero em sua propriedade pode-se começar por algo mais simples ditos “sistemas agroflorestais simplificados” e para os que estiverem dispostos a enfrentar um desafio maior ou evoluir de sistema para obter uma diversidade maior de produtos há os sistemas agroflorestais complexos que proporcionam mais vantagem, ou seja, maior equilíbrio ecológico o que reflete em uma maior produtividade.

Referências Bibliográficas

- PENEIREIRO, F. M. 1999. **Sistemas Agroflorestais Dirigidos pela Sucessão Natural**: Um Estudo de Caso. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciências Florestais. Piracicaba, São Paulo. p. 149 Disponível em: < http://media0.agrofloresta.net/static/artigos/tese_fabiana_peneireiro.pdf> Acesso em: 20 de março de 2012.
- HOFFMANN, M. R. 2005. **Sistema Agroflorestal Sucessional – Implantação mecanizada. Um estudo de caso**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. Dissertação de Graduação. 59p.
- MILLER, P. R. s/a. Construindo A Complexidade: O Encontro De Paradigmas Agroflorestais. Instituto Olhar Etnográfico, Brasília-DF. Disponível em: < http://media0.agrofloresta.net/static/artigos/Construindo_a_complexidade-Robert_Miller.pdf> Acesso em: 20 de março de 2012.
- MULLER, M.W. s/a. **Sistemas agroflorestais como uso sustentável dos solos**: conceito e classificação. Disponível em < <http://www.ceplac.gov.br/radar/semfaz/conceiroeclassificacao.htm>>. Acesso em 15 de setembro de 2011.

YERBA MATE ORGÁNICA: AGROSILVICULTURA ARMONIZANDO OBJETIVOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES

ORGANIC YERBA MATE: AN AGROFORESTRY SYSTEM HARMONIZING ECONOMIC, SOCIAL AND ENVIRONMENTAL GOALS

Montagnini¹ F.; Eibl² B. I.; Barth^{2,3} Sara R.

¹Professor in the Practice of Tropical Forestry, Yale University School of Forestry and Environmental Studies, 360 Prospect St., New Haven, CT 06511, USA, Email: florencia.montagnini@yale.edu

²Docente e Investigadora, Facultad Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Eldorado, Misiones, Argentina, email: beibl@arnet.com.ar

³Investigadora, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, EEA Montecarlo, Misiones, Argentina, email: sbarth@montecarlo.inta.gov.ar

Resumen

El mercado de yerba mate, *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire está expandiéndose internacionalmente, ya que contiene antioxidantes y es energizante, siendo una alternativa al café. La yerba mate orgánica obtiene mejores precios que la convencional. En monocultivo, su manejo puede causar erosión y agotamiento del suelo, sin embargo crece en bosque subtropical y tolera la sombra es decir es apta para sistemas agroforestales. Se estudiaron sistemas agroforestales de yerba mate orgánica conduciendo entrevistas semi-estructuradas en Misiones, incluyendo chacras familiares, establecimientos más grandes y compañías privadas. Se identificaron numerosas especies nativas creciendo en asociación con yerba mate. Se recomienda las siguientes: *Balfourodendron riedelianum*, *Cordia trichotoma*, *Nectandra lanceolata*, *Bastardiopsis densiflora*, *Cedrela fissillis*, *Jacaranda micrantha*, *Araucaria angustifolia*, *Ocotea puberula*, de desarrollo monopódico y poda natural; *Tabebuia heptaphylla*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Peltophorum dubium*, *Parapiptadenia rigida* y *Anadenanthera macrocarpa* de copa amplia; todas de buen crecimiento y madera de calidad; y otras especies fructíferas, medicinales u ornamentales para aumentar la diversificación.

Palabras Clave: Bosque Atlántico, certificación, especies nativas, manejo del suelo, sombra

Summary

Trade in yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire) is expanding internationally as it contains antioxidants and is energizing, making it an alternative to coffee. Organic yerba mate gets higher prices than the conventional product. When grown in monocultures, its management can cause erosion and soil exhaustion, however yerba mate grows in subtropical forest and is shade tolerant thus it is adequate for agroforestry systems (AFS). We examined organic agroforestry systems of yerba mate conducting semi-structured interviews in Misiones, including smaller, family-operated farms, larger farms and private companies. We recorded a substantial number of native species. We recommend the following: *Balfourodendron riedelianum*, *Cordia trichotoma*, *Nectandra lanceolata*, *Bastardiopsis densiflora*, *Cedrela fissillis*, *Jacaranda micrantha*, *Araucaria angustifolia*, *Ocotea puberula*, of monopodic growth and self pruning; *Tabebuia heptaphylla*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Peltophorum dubium*, *Parapiptadenia rigida* y *Anadenanthera macrocarpa* with broad canopies; all with good growth and quality timber; and other species of fruit, medicinal or ornamental value to increase diversification.

Key Words: Atlantic forest, certification, native species, shade, soil management

Introducción

El mercado de la yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, Aquifoliaceae) se encuentra en expansión en EE.UU., Europa y Asia, donde es un producto atractivo debido a su alto contenido de antioxidantes y efectos estimulantes (Heck and Mejía, 2007; Day et al., 2011). La yerba mate (Imagen 1) es nativa del E Paraguay, NE de Argentina y S del Brasil. Argentina es el productor más importante, con un total de unas 203,800 ha. Aproximadamente el 5% de la provincia de Misiones se encuentra actualmente dedicado a la producción de yerba mate (INYM, Instituto Nacional de la Yerba Mate, www.inym.org.ar). La yerba mate es cultivada por grandes, pequeños y medianos productores como un negocio familiar, en cooperativas, o empresas a gran escala, tanto para consumo local como para exportación.

En Misiones la mayoría de los productores cultivan menos de 10 ha de yerba mate en sus establecimientos, lo cual representa casi 1/3 de la superficie total dedicada al cultivo. También son el grupo con menores rendimientos por hectárea, debido a que son los sectores más pobres, con problemas en la incorporación de tecnologías para mantener la capacidad productiva de las plantaciones y los suelos (INYM 2006). La yerba mate se cultiva en suelos rojos de órdenes Ultisol y Alfisol con buenas condiciones físicas, ligeramente a fuertemente ácidos y de fertilidad media a buena. En su hábitat natural de bosque subtropical la yerba mate ocupa un estrato medio y puede alcanzar 16 m de altura. Es tolerante a la sombra por lo cual puede ser cultivada en sistemas agroforestales (SAF) (INYM 2006).

En las pequeñas propiedades, la yerba mate se planta en parcelas puras de 3 o 3.5 m x 1.5 m (1,900 a 2,220 pl / ha). Las malezas se controlan de forma manual o con herbicidas en las líneas de yerba mate, mientras que el control mecánico se lleva a cabo en los callejones entre las líneas. El Programa de Asistencia a los Productores de yerba mate (Programa de Asistencia al Sector Yerbatero, PRACY) del INYM, aconseja a los agricultores el uso de cubiertas verdes de invierno y de verano para mejorar los suelos (especialmente cuando se trata de especies fijadoras de nitrógeno) y para ayudar a controlar las malezas y plagas. La cosecha se realiza entre abril y septiembre (otoño a invierno), y en verano (diciembre-febrero) (en diferentes plantas de yerba mate). Un factor importante en la disminución de la productividad de yerba mate cuando se practica el monocultivo convencional es el deterioro gradual de la capacidad productiva de los suelos impulsada por prácticas inadecuadas de manejo (Imagen 2).



Imagen 1 (izquierda). Planta joven de yerba mate, foto: F. Montagnini. Imagen 2 (derecha). Erosión del suelo en plantaciones de YM en monocultivo convencional en Montecarlo, Misiones, foto: N. Pahr.

Image 1 (left). Young yerba mate plant, photo: F. Montagnini. Image 2 (right). Soil erosion in conventional yerba mate plantation in Montecarlo, Misiones, photo: N. Pahr.

Aunque según los volúmenes de producción los precios a veces no son muy atractivos, los productores orgánicos de yerba mate pueden obtener superávit sustancial de los precios. La tendencia hacia la producción orgánica de yerba mate puede ser favorecida cuando ésta se cultiva en combinación con árboles nativos. En este artículo se examina el uso de sistemas agroforestales de yerba mate orgánica en combinación con otras especies de árboles nativos, sus beneficios ecológicos y económicos, y se ofrecen recomendaciones para mejorar y ampliar estas prácticas.

Materiales y métodos

La provincia de Misiones, NE de Argentina es parte Bosque Atlántico Interior del Alto Paraná (Figura 1). El clima es subtropical húmedo sin estación seca, con una precipitación media anual de 2,020 mm, distribuida uniformemente durante el año, y la temperatura media anual es de 20 ° C. Los principales productos agrícolas son el tabaco, yerba mate y té. Las plantaciones forestales incluyen especies exóticas como el pino (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), y nativas como la araucaria (*Araucaria angustifolia*) y otras especies en menores superficies (Montagnini et al., 2006; Ilany et al., 2010). En el presente trabajo se evaluó la historia del uso del suelo, los usos actuales del terreno, las técnicas agrícolas empleadas, y la economía de la producción de yerba mate por medio de entrevistas semi-estructuradas con agricultores orgánicos de yerba mate, incluyendo pequeños y grande productores, cooperativas, y organizaciones no gubernamentales (Montagnini et al., 2011).

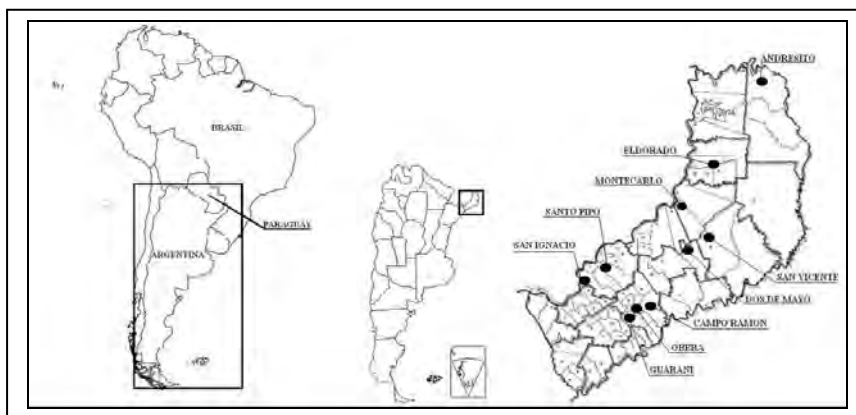


Figura 1. Misiones, Argentina, y localidades visitadas en este trabajo (Mapa: Marcio López).

Figure 1. Misiones, Argentina, and localities visited in this research (Map: Marcio López).

Resultados y Discusión

Guayakí

Guayakí fue iniciada en 1996 por socios de Buenos Aires, Argentina y California, EE.UU. (www.guayaki.com). Su yerba mate orgánica está certificada por O.I.A. (Organización Internacional Agropecuaria), acreditado por el USDA. Los agricultores que visitamos cerca de Andresito (Figura 1) tenían plantaciones de yerba mate relativamente pequeñas (menores de 20 ha) y la producción de yerba mate era un suplemento a sus ingresos. Para controlar las malezas utilizan un rodillo de madera arrastrado por un tractor pequeño entre las líneas de yerba mate. El rodillo empuja hacia abajo la maleza y crea una capa de material orgánico que protege contra la erosión. Los agricultores realizan anualmente un

censo de especies nativas en sus parcelas. Se espera que se encuentren alrededor de 2,000 individuos de 30 especies nativas por hectárea, de todos los tamaños y formas de vida, no sólo árboles. Fuentes de semillas de especies nativas están aparentemente disponibles ya que los agricultores tenían parches de bosques naturales en sus propiedades. Guayakí cuenta con un vivero para producir especies de plantas nativas para intercalar con yerba mate, y algunos agricultores tienen sus propios viveros. El trabajo adicional en el uso de las prácticas orgánicas se ve compensado por los mayores precios de yerba mate pagados por Guayakí, alrededor de 3 veces el precio "normal" (Raúl Kölln, com. pers., mayo 2009).

Kraus

Kraus S.A. es una empresa familiar ubicada cerca de San Ignacio Mini, donde se encuentra una de las misiones jesuita-guaraní, atractivo turístico de Misiones (Figura 1) (www.kraus.com.ar). La familia Kraus usa un sistema de secado con el flujo de aire caliente producido por una caldera para proporcionar un producto libre de humo preferido en mercados extranjeros. Hay parches de bosque nativo dentro y alrededor de su finca de 400 has. Aparte de yerba mate (certificada por OIA), cultivan té verde orgánico y crían ganado vacuno. Realizan control de malezas con machete y azadón y un pequeño tractor con arado de disco entre las líneas de yerba mate. No necesitan usar plaguicidas ya que la incidencia de plagas es mínima (Milton Kraus, com. pers., junio 2007). Plantan especies nativas a 3 m de distancia entre árboles, dentro de las líneas de yerba mate, después de pasado el peligro de heladas. Colaboran en la reforestación con la empresa de EE.UU. EcoTeas (www.ecoteas.com).

Roapipó

Roapipó es un establecimiento de 100 ha en Santo Pipó, Dpto. San Ignacio (Figura 1), de la Fundación Alberto Roth (FAR), la cual tomó el nombre del pionero que dejó un legado de buenas prácticas para promover el cultivo sostenible de la yerba mate y la conservación (www.fundaroth.org). Roapipó tiene unas 40 ha de yerba mate, 15 ha de sistemas silvopastoriles, 20 de pino y 27 de bosque natural. La yerba mate es procesada para consumo local o exportación en la chacra y comercializada por "Yerbatera ROAPIPÓ", certificada por OIA. Visitamos plantaciones de yerba mate, la planta procesadora de yerba mate, el vivero de árboles nativos, y el bosque nativo. Observamos un SAF de 4 ha de yerba mate, de 20-30 años, plantado con árboles nativos de *Cordia trichotoma* (peteribí), con abundante regeneración natural (Imagen 3). El desmalezado se realiza con machete, arado de discos y rodillos entre las líneas de yerba mate. Los senderos y caminos son plantados con pasto jesuita (*Axonopus compressus*), especie nativa tolerante a la sombra, para evitar erosión. No tienen problemas de plagas o enfermedades ya que ayudan a controlarlas los depredadores naturales tales como insectos ("alguaciles") y aves, su presencia favorecida por el bosque cercano. FAR está plantando nuevos clones de yerba mate producidos por INTA para renovar sus yerbales (H.R. Würigler y G. Netter G., com. pers., marzo 2010).

Familia Barney

Esta es una empresa familiar con dos chacras de alrededor de 75 ha cada una situadas cerca de Oberá y Campo Ramón (Figura 1) (<http://yerbamateannapark.blogspot.com>). La familia Barney utiliza cubiertas verdes para mantener la yerba mate limpia de malezas y proteger las plantas del calor del verano. Realizan control de malezas adicional con machete y con desmalezadoras alrededor de las plantas (Eric Barney, com. pers., marzo 2010). Tienen un vivero con árboles nativos y frutales. Su yerba mate está certificada por OIA, se procesa en la chacra y se vende localmente y para exportación. Cultivan té para obtener ingresos

adicionales. Observamos varios árboles nativos creciendo en las líneas de yerba mate, algunos plantados y otros de regeneración natural (Tabla 1) (Imagen 4).



Imagen 3 (izquierda). Yerba mate con árboles nativos de *Cordia trichotoma* (Peteribí), plantados hace 20-30 años, en Roapipó. Imagen 4 (derecha). Cedro (*Cedrela fissilis*) de regeneración natural en finca de la familia Barney. Fotos: B. Eibl.

Image 3 (left). Yerba mate with planted native trees of *Cordia trichotoma* (peteribí), 20-30 years old, at Roapipó. Image 4 (right). Cedro (*Cedrela fissilis*) from natural regeneration at Barney family farm. Photos: B. Eibl.

Cooperativa Ruiz de Montoya

La cooperativa agrícola Ruiz de Montoya fue fundada en 1953 y cuenta con 230 miembros. Tienen un centro de secado y empaque de yerba mate que procesa sus marcas "Tucanguá" y "Oroyé", de venta local y para exportar como orgánicas, certificadas por ARGENCERT. Procesan alrededor de 2,5 millones de ton/año de 14 productos de yerba mate y té (www.yerbaytetucangua.com.ar). Los productores que venden yerba mate a Ruiz de Montoya reciben asistencia técnica del INTA local. Por lo general, estos productores obtienen precios un 30% mayor que el pagado por INYM, aunque a veces la cooperativa no puede comprar todo el volumen. Sin embargo, la planta de yerba mate puede permanecer en los campos sin deteriorarse por lo que se puede retrasar la cosecha para esperar a precios favorables (M. Fernández Corda, com. pers., marzo 2010). No utilizan herbicidas, controlando las malezas una vez o dos veces al año y justo antes de la cosecha mediante métodos mecánicos. Permiten cierta cantidad de malezas entre las líneas de yerba mate para mantener la cobertura del suelo. Promueven la regeneración natural de árboles en las líneas de yerba mate y algunas especies nativas adicionales (Tabla 1). Son inspeccionados dos veces al año por representantes de ARGENCERT, a cargo de la Cooperativa.

Ventajas ecológicas y económicas de sistemas agroforestales orgánicos con yerba mate

La Tabla 1 resume las especies que encontramos asociadas con yerba mate en nuestra investigación y las principales características que las hacen deseables para la combinación con yerba mate. La mayoría de las especies provenían de regeneración natural en las líneas de yerba mate, mientras que la araucaria, palo rosa, guatambú, loro blanco, peteribí, anchico colorado, lapacho amarillo y lapacho negro habían sido plantados (Tabla 1). Varias de estas especies han demostrado buen crecimiento y adaptabilidad en otros sitios en Misiones (Eibl *et al.*, 2000; Montagnini *et al.*, 2006; Barth *et al.*, 2008).

Tabla 1. Especies nativas de árboles encontradas creciendo en SAF orgánico con YM en este estudio. Las especies recomendadas están marcados con un asterisco.

Table 1. Native tree species found growing in AFS of organic YM in this study. Recommended species are marked with an asterisk.

Nombre científico	N. común	Familia	Usos	Sitio	Características ecológicas
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jaq)Lodd ex Mart	acrocomia	Arecaceae	Aceite, fauna	Barney	Restauración, corredores biológicos
<i>Albizia hasslerii</i> (Chodat) Burkart	Anchico blanco	Fabaceae	Leña	Guayakí	Fijación de N
<i>Annona</i> spp.	Araticú	Annonaceae	Fruta	Barney	Restauración, fauna
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Grapia	Fabaceae	Madera	Roapipó	Restauración, fauna, fija N, crecimiento lento
<i>Araucaria angustifolia</i> * (Bertol) Kuntze	araucaria, pino paraná	Araucariaceae	Madera	Kraus	Buena madera, monopódica, tolera heladas, heliófila
<i>Arecastrum romanzoffianum</i>	Pindó	Arecaceae	Fauna, miel	Todos	Restauración, corredores biológicos
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Mull.Arg.	palo rosa	Apocinaceae	Madera	Guayakí	Crecimiento lento, monopódica, precisa sombra
<i>Ateleia glazioviana</i> Baill	Timbó blanco	Fabaceae	Leña	Guayakí	Fijación de N
<i>Balfourodendron riedelianum</i> * (Engl) Engl	guatambú	Rutaceae	Madera	Kraus	Madera de calidad, crecimiento lento, monopódica
<i>Bastardiopsis densiflora</i> (HooketArn.)Hassl.*	loro blanco	Malvaceae	Madera, miel	Kraus	Mejora suelos, semi-decídua, se auto poda, heliófila
<i>Cabrlea canjerana</i> (Vell) Mart	cancharana	Meliaceae	Madera, fauna	Todos	Rápido crecimiento, precisa sombra
<i>Cecropia pachystachya</i> Trecul	Ambay	Cecropiaceae	Fauna, medicinal	Todos	Rápido crecimiento, pionera, mejora suelos
<i>Cedrela fissilis</i> * Vell.	Cedro	Meliaceae	Madera	Todos	Buena madera, monopódica, caducifolia, heliófila
<i>Cordia trichotoma</i> * (Vell.) Johnst.	Peteribí	Boraginaceae	Madera, miel	R. Pipó, Kraus	Buena madera, monopódica, caducifolia, heliófilo
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> * (Vell.)	Timbó	Fabaceae	Madera	Guayakí Barney	Fija N, tierras degradadas, caducifolia, heliófila
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Palmito	Arecaceae	Palmito, fauna, miel	Guayakí	Crece a la sombra
<i>Holocalyx balansae</i>	Alecrin	Fabaceae	Madera	Guayakí	Restauración, fauna

<i>Jacaranda semiserrata*</i> , <i>J. micrantha*</i> Cham.	Caroba	Bignoniaceae	Madera	Todos	Rápido crecimiento, caducifolio, monopólico
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	rabo molle	Fabaceae	Madera	Barney	Fija N, crecimiento lento
<i>Machaerium</i> spp.	Isapuy	Fabaceae	Madera, leña	Guayakí Barney	Rápido crecimiento, tierras degradadas
<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemao	Incienso	Fabaceae	Madera, miel	Roa Pipó	Buena madera, sombra
<i>Nectandra lanceolata*</i> Nees et Mart. ex Nees	Laurel amarillo	Lauraceae	Madera, fruta	Guayakí	Suelos degradados, se auto poda
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng)	laurel negro	Lauraceae	Madera, fruta	Guayakí Barney	Tierras degradadas
<i>Ocotea puberula</i> (Rich)	laurel guaicá	Lauraceae	Madera	Guayakí	Restauración, fauna
<i>Parapiptadenia rigida*</i> (Benth.) Brenan	Anchico colorado	Fabaceae	Leña, madera	Guayakí Kraus	Fija N, copa abierta, caducifolio, heliófilo
<i>Patagonula americana*</i> L.	guayubira	Boraginaceae	Madera	Guayakí	Monopódico, tolera heladas, heliófila
<i>Peltophorum dubium*</i> (Sprengel) Taub.	cañafistola	Fabaceae	Madera, leña, miel	Kraus	Buena madera. Crece rápido tierras degradadas, caducifolio
<i>Solanum granulosum-leprosum</i> Dunal	fumo bravo	Solanaceae	Miel, fauna	Todos	Rápido crecimiento, pionero, mejora suelos.
<i>Tabebuia</i> spp.*	Lapacho amarillo	Bignoniaceae	Madera, leña, miel	Kraus Barney	Buena madera. Caducifolio, crece rápido, necesita poda
<i>Tabebuia heptaphylla*</i> (Vell.) Toledo	Lapacho negro	Bignoniaceae	Madera, leña, miel	Kraus Barney	Buena madera. Crece rápido, caducifolio, sitios degradados, necesita poda
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Palo pólvora	Ulmaceae	Leña, miel	Todos	Árbol pequeño, semideciduo, mejora suelos.

En los sistemas agroforestales los árboles nativos pueden mejorar la fertilidad del suelo, evitando depender de fertilizantes y promoviendo la sostenibilidad. Por ej. Ilany et al. (2010) encontraron que yerba mate con árboles nativos de *Araucaria angustifolia* tenían menor contenido de nutrientes que en monocultivo pero mantenían su fertilidad a largo plazo. Diferentes especies de árboles pueden tener efectos distintos sobre los suelos, por ej. en estudios recientes en sistemas agroforestales de yerba mate orgánica con especies nativas en Eldorado, los suelos en yerba mate con la especie fijadora de N *Enterolobium contortisiliquum* (timbó) tuvieron mayor contenido de P, que en sistemas agroforestales de yerba mate + *Tabebuia heptaphylla* (lapacho negro); además, los sistemas de yerba mate

+timbó, y yerba mate +timbó+lapacho contenían más Mg que los otros tratamientos (Day et al., 2011). En el presente trabajo observamos además un mejor crecimiento y hojas más verdes de yerba mate en plantas que crecen cerca de árboles timbó que en plantas que crecen cerca de eucaliptos (Imagen 5).

La certificación orgánica juega un papel importante en la obtención de un precio superior por un producto agrícola. Para la yerba mate de exportación la certificación orgánica ha permitido precios que pueden ser más de 5 veces superiores a los de productos convencionales (Tabla 2). El mercadeo y presentación del producto influyen fuertemente sobre el precio (nombre de la marca, tipo de envase y otros detalles que hacen al producto más atractivo).



Imagen 5. Yerba mate bajo timbó (*Enterolobium contortisiliquum*, árbol nativo, fija N, buena madera) es más verde que cuando crece bajo eucalipto (sostenida con la mano); finca de José Zubczuk, en Guaraní, Misiones. Foto: B. Eibl.

Image 5. Yerba mate growing under timbó (*Enterolobium contortisiliquum*, a native, N fixing tree of good timber) is greener than when growing under eucalypts (held by hand); José Zubczuk's farm in Guaraní, Misiones. Photo: B. Eibl.

Tabla 2. Precios de productos de YM en Connecticut, EE.UU., octubre de 2010 (en dólares de EE.UU.)

Table 2. Prices of YM products in stores in Connecticut, USA, October 2010 (US Dollars).

Marca	Tipo de producto	Precio por producto (dólares)	Precio/1000g
Guayakí	YM orgánica suelta	9,99 paquete 454 g	22.0
The Maté Factor	YM orgánica suelta	9,45 paquete 340 g	27.8
Wisdom of the Ancients	YM orgánica suelta	10,99 lata 79.9 g	137.5
Rosamonte	YM convencional suelta	3,99 paquete 1000 g	3.99
La Hoja	YM convencional suelta	3,49 paquete 1000 g	3.49
Nobleza Gaucha	YM convencional suelta	3,49 paquete 1000 g	3.99
Eco-Teas	YM orgánica en saquitos	5,39 por 24 saquitos, 48 g c/u	74.4

The Maté Factor	YM orgánica en saquitos	6,25 por 24 saquitos, 84 g c/u	112.3
Wisdom of the Ancients	YM orgánica en saquitos	6,99 por 25 saquitos, 50 g c/u	139.8
Taragüí	YM convencional saquitos	1,39 por 25 saquitos, 75 g c/u	18.5
Cruz de Malta	YM convencional saquitos	1,39 por 25 saquitos, 75 g c/u	18.5

Conclusiones

El interés en el cultivo de yerba mate orgánica en sistemas agroforestales está en aumento, por lo cual son necesarios conocimientos adecuados para obtener mejores precios de la yerba mate y otros ingresos de los árboles. Recomendamos las especies arbóreas siguientes para sistemas agroforestales orgánicos con yerba mate: guatambú, peteribí, laurel amarillo, loro blanco, cedro, caroba, araucaria, laurel guaicá, debido a su crecimiento monopódico y capacidad de auto poda, así como el lapacho negro, timbó, cañafistola, anchico colorado y curupay, de copa amplia, buen crecimiento y madera de alta calidad (Tabla 1). También recomendamos otros árboles, hierbas o arbustos con frutos, medicinales o de valor ornamental para aumentar la diversificación de productos. Los sistemas agroforestales de yerba mate orgánica con especies nativas además de proveer ingresos mayores cumplen funciones sociales importantes al diversificar la producción, y como otros sistemas agroforestales tienen asimismo funciones ambientales de aumentar la diversidad del paisaje, favorecer la fauna local y absorber carbono atmosférico.

Agradecimientos

Agradecemos a los agricultores, personal técnico y otras personas involucradas en la producción de YM en Misiones por compartir sus experiencias e ideas. Esta investigación fue apoyada por el Programa de Bosques Tropicales de la Universidad de Yale.

Bibliografía

- Barth, S. R., Eibl, B. I. and Montagnini, F. 2008. Adaptabilidad y crecimiento de especies nativas en áreas en recuperación del noroeste de la provincia de Misiones. 13as. Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Nacional de Misiones, y EEA INTA Montecarlo. Eldorado, Misiones, Argentina. Actas, CD.
- Day, S., Montagnini, F. and Eibl, B. 2011. Effects of native trees in agroforestry systems on the soils and yerba mate in Misiones, Argentina. In *Agroforestry as a Tool for Landscape Restoration*. Edited by F. Montagnini, W. Francesconi and E. Rossi. Nova Science Publishers, New York. Pp. 99-112.
- Eibl, B., Fernández, R., Kozarik, J. C., Lupi, A., Montagnini, F., and Nozzi D. 2000. Agroforestry systems with *Ilex Paraguariensis* (American Holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. *Agroforestry Systems* 48: 1-8.
- Heck, C. I. and Mejía, E. G. 2007. Yerba mate tea (*Ilex Paraguariensis*): a comprehensive review on chemistry, health implications, and technological considerations. *Journal of Food Science* 72: 138.
- Ilany, T., Ashton, M. Montagnini, F. and Martínez, C. 2010. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. *Agrofor. Sys.* 80(3): 399-409.
- Instituto Nacional de la Yerba Mate, INYM. 2006. Documento institucional. Posadas, Misiones. Argentina. 86 p.
- Montagnini, F., Eibl, B. and Fernández, R. 2006. Rehabilitation of degraded lands in Misiones, Argentina. *Bois et Forêts des Tropiques* 288: 51-65.
- Montagnini, F., Eibl, B., Barth, S. R. 2011. Organic yerba mate: an environmentally, socially and financially suitable agroforestry system. *Bois et Forêts des Tropiques* 308: 59-74.

EL PAPEL DE LA AGROSILVICULTURA EN LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

THE ROLE OF AGROFORESTRY SYSTEMS IN ADAPTATION AND MITIGATION OF CLIMATE CHANGE

Montagnini, F.¹

¹ Professor in the Practice of Tropical Forestry, Yale University School of Forestry and Environmental Studies, 360 Prospect St., New Haven, CT 06511, USA, Email: florencia.montagnini@yale.edu

Resumen

La agrosilvicultura o sistemas agroforestales (SAF) y sistemas silvopastoriles (SSP) tienen potencial para adaptación y mitigación (AyM) del cambio climático (CC), porque los árboles mejoran el microclima, promueven diversificación, y acumulan carbono en biomasa aérea y partes subterráneas. Mundialmente existen aproximadamente 1000 millones de hectáreas de SAF, con 200-357 millones en América Latina. Los SAF con cultivos perennes acumulan más carbono que los SAF con anuales. Los SSP bien manejados pueden compensar la emisión de gases de efecto invernadero de la ganadería. La captura de C por SAF en biomasa aérea es 0,29-15,21 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹, y para SSP, 1,1-6,55 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹, dependiendo del sitio, diseño, especies, edad y manejo. La acumulación de C en suelos en SAF es 30-300 Mg C ha⁻¹, con 130-173 Mg ha⁻¹ para SSP. Tendencias actuales de la agricultura, desarrollo y ambientales promueven SAF como herramienta para AyM del CC.

Palabras clave: América Latina, carbono, diversificación, materia orgánica, microclima

Summary

Agroforestry systems (AFS) and silvopastoral systems (SPS) have potential for adaptation and mitigation (A&M) of climate change (CC), because the trees ameliorate the microenvironment, promote diversification, and accumulate carbon in aboveground biomass and belowground components. AFS are practiced in approximately 1000 million hectares worldwide, with about 200-357 million hectares in Latin America. C accumulation is larger in AFS with perennial than in AFS with annual crops. Well managed SPS can decrease the impacts of cattle production systems as sources of greenhouse gases. C capture potential by AFS aboveground components is about 0.29-15.21 Mg C ha⁻¹ year⁻¹, and for SPS, 1.1-6.55 Mg C ha⁻¹ year⁻¹, depending on site, design, species, age and management. C accumulation in soils is in AFS is 30-300 Mg C ha⁻¹, and 130-173 Mg ha⁻¹ for SPS. Current trends in agriculture, development and environmental sectors promote AFS as tools for climate change adaptation and mitigation.

Key words: carbon, diversification, Latin America, microenvironment, organic matter

Introducción

Los impactos del cambio climático (CC) sobre la agricultura han sido documentados ampliamente. La capacidad de adaptación de los cultivos se espera disminuya en 2050 según modelos de aumento de temperatura con el CC. Por ej., para cultivos de importancia comercial como el café existen mapas donde se observa el cambio en las regiones aptas para cultivo a medida que cambian las condiciones del clima de cada región (Pinto *et al.*, 2002).

Ante esta situación es necesario desarrollar estrategias de adaptación y mitigación (AyM) que al mismo tiempo mantengan o incrementen la productividad y la sostenibilidad. En este sentido se abren numerosas oportunidades con los sistemas agroforestales (SAF), la combinación de cultivos y/o animales con especies arbóreas o arbustivas en el mismo terreno en diseños espaciales o temporales (Montagnini *et al.*, 1992). Mundialmente existen aproximadamente 1000 millones de hectáreas de SAF (Nair *et al.*, 2010, 2011). Los SAF se encuentran ampliamente difundidos en América Latina, con un total de 200-357 millones de ha incluyendo 14-26 millones en América Central y 88-315 en América del Sur, siendo los más prominentes los sistemas silvopastoriles comerciales y los de cultivos perennes bajo sombra con especies como café y cacao (Somarriba *et al.*, 2012).

El presente artículo es una revisión del potencial de los SAF para la AyM del CC con énfasis en América Latina. Se presenta evidencia de adaptación al CC en SAF con cultivos perennes tales como el café y factores que influyen sobre el uso de SAF para AyM. Se muestran datos sobre la mitigación del CC con toma de C en diferentes tipos de SAF (SAF con cultivos anuales y perennes y sistemas silvopastoriles (SSP) en biomasa aérea y en suelos. Finalmente se discute cómo pueden los SAF ser una herramienta efectiva para AyM del CC.

Papel de la agrosilvicultura en la adaptación al CC

Análisis a nivel de finca han demostrado que reducciones en los impactos adversos del cambio climático son posibles cuando las estrategias de adaptación se aplican plenamente (Mendelsohn and Dinar, 1999), incluyendo:

- Cambio de cultivos hacia otros mejor adaptados
- Ajuste de las temporadas de cosecha
- Control de plagas y enfermedades cuya incidencia o gravedad es influida por el CC
- Traslado de cultivos a elevaciones más altas
- Cambios en el uso de la tierra hacia otras actividades productivas
- Mejora en los sistemas de agua de riego
- Desarrollo del mercado de especies de cultivos nuevos
- Implementación y manejo de SAF adecuados al CC

La diversificación económica es una estrategia para manejar el riesgo climático y el de los mercados, al disminuir la dependencia de los ingresos provenientes de la agricultura. Los SAF tienden a lograr mayor diversificación tanto a nivel de sistema de producción, como de finca y del paisaje.

A nivel del cultivo el diseño adecuado de SAF puede contribuir a la adaptación al CC. Por ej. estudios en SAF de café para hacer frente al CC en México destacan que el CC aumenta la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos: sequías, inundaciones, heladas y olas de calor que afectan a la producción (Pinto *et al.*, 2002). En los SAF de café las fluctuaciones de temperatura, humedad y radiación solar disminuyen al aumentar la densidad de la sombra, indicando que los árboles de sombra protegen a las plantas de café de la variabilidad del clima. La reducción de las fluctuaciones en la temperatura ayuda a que el café permanezca a la temperatura óptima. La reducción de la humedad durante el día permite menor pérdida de agua por evapotranspiración (Afanador Ardila, 2008). Asimismo, el café bajo sombra en SAF logra un producto de mejor calidad (Muschler, 2001).

Los árboles de sombra también brindan protección contra radiación solar excesiva, vientos fuertes y lluvias torrenciales. En la yerba mate, *Ilex paraguariensis*, cultivada en NE de Argentina, S de Brasil y Paraguay tanto en plantaciones abiertas como en SAF, los árboles acompañantes cumplen esta función protectora además de mejorar la fertilidad del suelo según las especies (Montagnini *et al.*, 2011) (Imagen 1).

Asimismo, la disminución de la temperatura del aire bajo el dosel arbóreo es una de las ventajas principales de los sistemas silvopastoriles (SSP). Los SSP generan un microclima

que puede mitigar los efectos desfavorables de los fenómenos climáticos como ENSO (El Niño), con disminución de 2 a 3°C en temperatura anual promedio, 10 a 20% mayor promedio anual de humedad relativa, y menor evapotranspiración (Murgueitio *et al.*, 2011).

Por otro lado deben considerarse posibles desventajas del uso de SAF, tales como competencia por agua y nutrientes entre los diferentes componentes (especialmente durante las sequías, y en suelos pobres); mayor incidencia de ciertas plagas, ej. enfermedades fungosas en café, cacao; necesidad de mano de obra (para la poda y otras tareas); adoptabilidad (influida por tradiciones de los agricultores y otros factores). Para lograr un balance adecuado entre ventajas y desventajas es recomendable realizar análisis de la eficiencia económica de los SAF examinando los beneficios netos a lo largo de gradientes regionales de temperaturas y humedad, para lograr un punto de vista acertado sobre las regiones donde los SAF son una opción eficiente como estrategia de adaptabilidad al CC (Afanador Ardila, 2008).



Imagen 1. SAF de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) con árboles y cultivos en Misiones, Argentina. La yerba mate se encuentra mejor protegida en SAF del exceso de radiación solar, y de los vientos y lluvias fuertes que en monocultivo. El Timbó (*Enterolobium contortisiliquum*), árbol nativo de Misiones, fija N y favorece el crecimiento de yerba mate y otros cultivos. El agricultor obtiene varios productos de su terreno diversificando el ingreso y disminuyendo riesgos. Foto: F. Montagnini.

Image 1. AFS of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) with trees and crops in Misiones, Argentina. Yerba mate is best protected in AFS from excess insolation, and from wind and strong rains than in monoculture. Timbó (*Enterolobium contortisiliquum*), native from Misiones, fixes N and favors the growth of yerba mate and crops. The farmer obtains several products from his land which diversifies income and decreases risks. Photo: F. Montagnini.

Los SAF y la mitigación del cambio climático

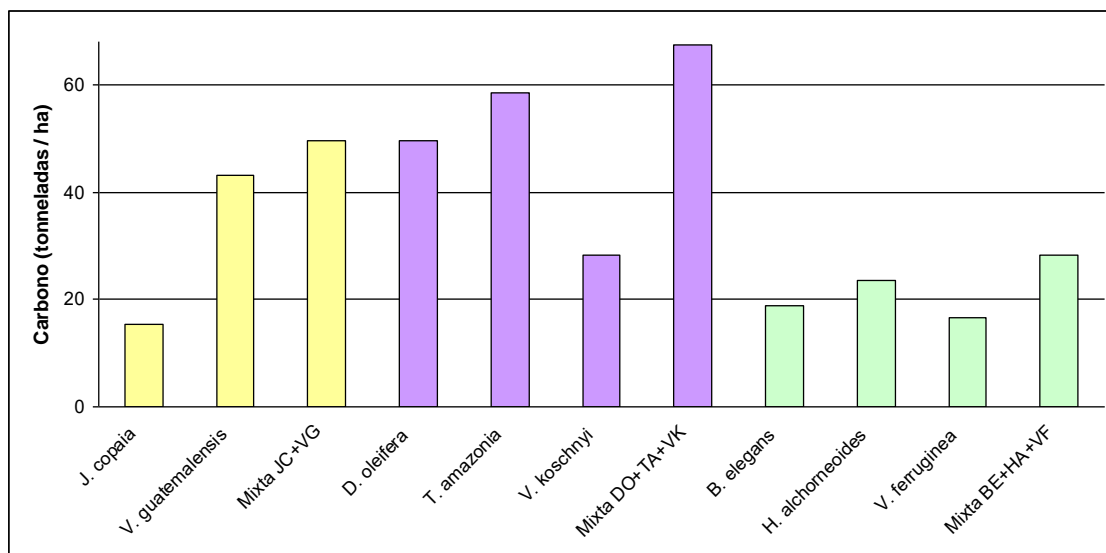
Los SAF tienen un papel importante en la mitigación del CC al disminuir la presión sobre los bosques, los cuales son el mayor reservorio de C, además de contribuir a la toma de C en el componente arbóreo, cultivos y suelos (Montagnini and Nair, 2004). Los SAF pueden ser un instrumento importante para los programas que financian sistemas de uso de la tierra que eviten la deforestación, tales como REDD+, con la ventaja de que además tienen funciones en AyM del CC, y sus beneficios económicos, sociales y ambientales.

Existe mucha variabilidad en el potencial para la toma de C entre las diferentes

especies utilizadas en SAF, sea árboles, arbustos, o cultivos, unido a la variabilidad esperada entre regiones, sumado a las diferentes prácticas de manejo que también pueden afectar estas tasas. Variaciones en las condiciones ambientales (clima, suelos) pueden afectar la toma de C dentro de una región. Los supuestos utilizados en los cálculos pueden originar errores en las estimaciones de biomasa y C (densidad de madera, contenido de C en tejidos, ecuaciones alométricas y modelos). Es necesario tomar en consideración esta variabilidad al realizar estimaciones y extrapolaciones.

Las estimaciones del potencial para la captura de C por los SAF son muy variables, con tasas de 0,29-15,21 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹ para la parte aérea del sistema (Nair *et al.*, 2009; Nair *et al.*, 2010). Estos valores son el resultado del potencial productivo del sistema, el cual depende del sitio, tipo de SAF, especies involucradas, edad y manejo (Montagnini and Nair, 2004; Verchot *et al.*, 2007). Para los SSP, informes recientes brindan cifras para la vegetación (partes aéreas y subterráneas) de 1,1-6,55 Mg de C ha⁻¹ año⁻¹ dependiendo de la localización geográfica así como del tipo de SSP, su edad, diseño y manejo (Nair *et al.*, 2009).

En investigaciones sobre crecimiento y adaptabilidad de especies nativas para uso forestal y agroforestal en la Estación Biológica La Selva en zona lluviosa del Caribe de Costa Rica evaluamos la toma de C en diseños puros y mixtos por medio de la cosecha y peso de la biomasa aérea (Piotto *et al.*, 2010) (Gráfico 1). Basado en estos resultados desarrollamos ecuaciones alométricas que permiten calcular la biomasa y C en base al diámetro a la altura del pecho de manera no destructiva (Montero and Montagnini, 2004).



Especies: *Jacaranda copaia*, *Vochysia guatemalensis*, *Dypterix oleifera*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Balizia elegans*, *Hyeronima alchorneoides*, *Vochysia ferruginea*

Gráfico 1. C en biomasa aérea de 8 especies arbóreas nativas en plantación pura y mixta de 16 años en La Selva, Costa Rica (Piotto *et al.*, 2010).

Figure 1. C in aerial biomass of 8 native tree species in pure and mixed plantation at 16 years at La Selva, Costa Rica (Piotto *et al.*, 2010).

El CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) ha desarrollado modelos de simulación para toma de C a largo plazo en bosques, plantaciones forestales y SAF: el modelo CO2FIX v3 (www.efi.gi/projects/casfor) puede usarse para calcular el C en todos los compartimentos (vegetación, suelos). La metodología de la Rainforest Alliance ha sido desarrollada para calcular C en SAF de café (Rainforest Alliance,

2009). En Misiones, existen ecuaciones alométricas para especies usadas en SAF de yerba mate con maderables, y otras especies nativas (López, 2010; Eibl y col., 2012).

Toma de C en SAF con cultivos anuales y perennes

En estudios de SAF de cultivos en callejones en CATIE, Costa Rica, Koskela *et al.* (2000) estimaron la acumulación en las partes ‘lábilés’ del sistema (C en follaje y ramas de los árboles y C en los cultivos anuales de maíz y frijol), y el almacenamiento ‘permanente’ en los troncos de los árboles de *Erythrina poeppigiana*. El almacenamiento de C en partes permanentes fue mayor que en las lábilés, pero aún así fue bastante inferior al C acumulado en SAF con cultivos perennes. Como los árboles son podados para depositar su material en los callejones, el C solamente es almacenado en los troncos que quedan luego de la poda.

En estimaciones de C en SAF con cultivos perennes, Koskela *et al.* (2000), mostraron que el C almacenado en biomasa vegetal perenne en SAF de cacao con árboles en Costa Rica, fue similar para dos sistemas: 4,28 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para cacao-*Cordia alliodora*, y 3,08 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para cacao-*Erythrina poeppigiana*. Estos valores relativamente elevados, son aproximadamente 50% de los valores del bosque natural. En otras partes del mundo y con otras especies los datos también muestran que los SAF con cultivos perennes acumulan cantidades de C mayores que los SAF con especies anuales (Montagnini and Nair, 2004).

Toma de C en sistemas silvopastoriles (SSP)

La toma de C en pasturas puede aumentar sustancialmente con el pastoreo controlado, uso de especies de pasturas adecuadas, y los SSP (Lal, 2005; Ibrahim *et al.*, 2007; Murgueitio *et al.*, 2009, 2011). En Costa Rica, Colombia y Nicaragua se examinó el almacenamiento del C aéreo y en suelos en pasturas degradadas, pasturas mejoradas, bosques secundarios y plantaciones forestales. En Costa Rica las plantaciones de teca y bosques secundarios tuvieron la mayor cantidad de C en biomasa aérea (90 Mg ha⁻¹). Las pasturas degradadas tuvieron el menor C orgánico del suelo (COS) (22 Mg C ha⁻¹, mientras el COS fue 96 Mg ha⁻¹ en las plantaciones de árboles y 140 Mg ha⁻¹ en pasturas mejoradas sin árboles. Se concluye que la toma de C puede aumentar con el uso de pastos mejorados y con la adición de árboles en el paisaje en SSP, plantaciones forestales y bosques ribereños (Ibrahim *et al.*, 2007).

En otro estudio de C de SSP en zona del Pacífico seco de Costa Rica, pasturas con especies de rápido crecimiento (*Brachiaria brizantha*) fueron comparadas con pastos tradicionales dominados por *Hyparrhenia rufa*. Tres especies de árboles nativos fijadores de nitrógeno (*Pithecellobium saman*, *Diphysa robinoides* y *Dalbergia retusa*) fueron plantados a 2mx2m dentro de las líneas, con callejones de 8 m de ancho entre las hileras. Las parcelas fueron pastoreadas por 4-5 días con de 1-2 meses de descanso. El C total del sistema (parte aérea y subterránea) fue de 12,5 Mg C ha⁻¹ en SSP y 3,5 Mg C ha⁻¹ en los controles de pastos sin árboles (Andrade *et al.*, 2008).

El proyecto GAMMA del CATIE está actualmente evaluando el balance de GEI en fincas ganaderas en Costa Rica para desarrollar SSP carbono-neutrales. En el Pacífico seco de Costa Rica han demostrado que fincas ganaderas podrían mitigar entre 2,2 y 10,6 ton de CO₂e¹ por ha con la incorporación de SSP. Las buenas prácticas de manejo de los SSP y a nivel de finca, incluyendo uso de vermicompost, biogas, ensilaje y protección de bosques también contribuyen a la absorción de CO₂ (GAMMA, 2010).

Los SSP basados en animales rumiantes son fuentes de GEI, y la compactación y erosión provocan pérdidas adicionales de C y N del suelo. A pesar de temas en controversia por sus impactos ambientales la ganadería es parte de la economía rural, por lo cual es

¹ CO₂e es una medida métrica usada para comparar emisiones de varios GEI basado en su potencial para el calentamiento global.

importante diseñar y manejar sistemas como los SSP que compensen emisiones del sistema mismo y aún de afuera del sistema, adaptadas a las condiciones particulares de cada región.

Efectos del manejo de SAF sobre el COS: café orgánico y convencional

En SAF bien diseñados y manejados los árboles pueden proveer suficiente biomasa y nutrientes como para que no sea necesario usar fertilizantes químicos, haciendo factible el manejo orgánico con sus ventajas económicas y ambientales (Montagnini *et al.*, 2011). La diversidad de SAF puede resultar en menor incidencia de enfermedades y plagas de manera que no sea necesario el uso de pesticidas químicos. Los productos de la agricultura orgánica tienden a obtener mejores precios en los mercados locales e internacionales, lo cual muchas veces compensa por el trabajo o las dificultades involucradas en la agricultura orgánica. Muchos pequeños agricultores no pueden afrontar el precio de los agroquímicos, y el SAF orgánico es una alternativa para mantener una productividad aceptable y mejor precio.

Con el manejo orgánico a menudo es necesario el uso de enmiendas para el suelo en la forma de compost y otros materiales que tienden a aumentar el C orgánico del suelo (COS), con el consiguiente beneficio en términos de contribuir a la mitigación del cambio climático. El CATIE mantiene un proyecto desde el año 2000 con el objetivo de diversificar las especies de árboles de sombra en SAF de café y comparar manejo convencional y orgánico. En investigaciones sobre la influencia de la sombra y el manejo sobre el COS cuando estos SAF tenían 8 años de edad los resultados mostraron diferencias significativas entre el manejo orgánico y el manejo convencional con el café a pleno sol (Cowart, 2011) (Cuadro 1). Se encontró un aumento en el COS total cuando el manejo cambiaba de convencional intensivo, pasando por convencional moderado y llegando a orgánico intensivo. La especie de árbol de sombra no se correlacionó positivamente con el COS, lo cual sugiere que en este experimento el efecto del manejo sobre el COS se relaciona más con el tipo de enmiendas orgánicas utilizado. Un menor uso de fertilizantes y herbicidas, con el aumento de insumos orgánicos resultaron en un aumento en el COS, especialmente en la fracción gruesa o macroagregados del suelo (Cowart, 2011). Esto indica el potencial del manejo orgánico de los SAF para aumentar el COS, lo que provee numerosos beneficios al suelo al mismo tiempo que contribuye a reducir los niveles de C atmosférico.

Cuadro 1. Porcentaje de C total del suelo a los 30 cm de profundidad, en SAF de café y en café bajo sol según especie de árbol para sombra y tipo de manejo, en CATIE, Turrialba, Costa Rica. Las diferencias entre promedios son estadísticamente significativas cuando éstos están seguidos por letras diferentes (Tukey, $p < 0,05$). Fuente: Cowart (2011). Table 1. Percent of total soil C at 30 cm depth in AFS of coffee and coffee under sun by shade tree species and management type in CATIE, Turrialba, Costa Rica. Differences among means are statistically significant when followed by different letters (Tukey, $p < 0,05$). Source: Cowart (2011).

Tratamiento		% Carbono Total	
Especie de árbol	Manejo	Promedio	Error estándar
<i>C. eurycyclus</i>	Convencional moderado	5,317b	0,178
	Orgánico intensivo	6,720a	0,290
<i>E.poeppigiana</i>	Convencional intensivo	5,440b	0,845
	Convencional moderado	5,600b	0,244
	Orgánico intensivo	6,770a	0,450
<i>T. Amazonia</i>	Convencional intensivo	4,917b	0,303

	Convencional moderado	5,540b	0,875
	Orgánico intensivo	6,453a	0,437
Pleno sol	Conventional intensivo	5,573b	0,403
	Conventional moderado	5,900a	0,800

Conclusiones

Los SAF promueven resistencia para la adaptación a la variabilidad climática con la diversificación propia de estos sistemas, lo cual disminuye los riesgos y da más flexibilidad para cambiar hacia especies o variedades mejor adaptadas a las nuevas condiciones. Los SAF bien implementados y manejados pueden tener tasas de acumulación de C elevadas, y ser una herramienta efectiva para la M del CC. Los SAF con cultivos perennes tienen mayor potencial para la toma de C que los SAF con cultivos anuales. Cuando son bien diseñados y manejados, los SSP pueden compensar emisiones de GEI y hasta convertirse en sistemas de C neutral.

Una ventaja adicional de los SAF con respecto a la mitigación, es que pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas, convirtiéndose en una herramienta importante para los programas de REDD+. En el contexto de proyectos REDD+, mercados de C y programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), el C es un producto adicional que los agricultores pueden considerar al tomar decisiones de manejo o de usos alternativos de la tierra (Montagnini and Finney, 2011). Programas de compensación tales como el PSA tienen un papel importante en promover sistemas de uso y manejo de la tierra que neutralicen emisiones de GEI y que contribuyan a mantener las formas de vida.

Tendencias actuales a nivel mundial abren nuevas oportunidades para los SAF como herramientas de AyM de CC (www.fao.org/climatechange/climate-smart). Programas gubernamentales y privados tienden a promover cambios de agricultura convencional hacia usos de la tierra productivos, sostenibles y de bajos insumos tales como SAF, afirmando la importancia de los SAF en la diversificación de la producción, en moderar variables del microambiente, y en almacenar C en biomasa y suelos.

Agradecimiento

Parte de este trabajo fue presentado en las Jornadas Técnicas Científicas 25 Aniversario Fundación Danac, San Felipe, Yaracuy, Venezuela, 25 de Noviembre, 2011.

Bibliografía

- Afanador Ardila, A. 2008. Climate change adaptation in Latin American agriculture. Are agroforestry systems an alternative? MS Thesis. Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, New Haven, CT, USA. 36 pp.
- Andrade, H. J.; R. Brook; M. Ibrahim. 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant Soil* 308:11–22.
- Cowart, M. 2011. Shade and management effects on soil carbon fractions in organic and conventional coffee agroforestry systems in Costa Rica. MStHesis. Yale Univ, School of Forestry and Environmental Studies, New Haven, CT, USA. 18pp.
- Eibl, B. I, Barth, S. R., Montagnini, F. 2012. Adaptabilidad y crecimiento de especies nativas en áreas degradadas de la provincia de Misiones. *Actas 15 Jornadas Forestales y Ambientales, Fac. Ciencias Forestales, Univ. Nac. de Misiones.*
- GAMMA. 2010. Balance de gases efecto invernadero en fincas ganaderas de la región Chorotega, como elemento de referencia para mejorar la competitividad. Reporte final. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00202.pdf>. [Consultado: junio 2010].
- Ibrahim, M.; M. Chacón; C. Cuartas; J. Naranjo; G. Ponce; P. Vega; F. Casasola; J. Rojas. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforest. en las Amér.* 45: 27-36.
- Koskela J.; P. Nygren; F. Berninger; O. Luukkanen. 2000. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls. *Trop. For. Rep.* 22. Univ. Helsinki, Dept. of Forest Ecology. Helsinki. 103 pp.

- Lal, R. 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. *In*: F. Montagnini (Ed.). Environmental Services of Agroforestry Systems. Haworth Press, New York. pp. 1-30.
- López, L. N. 2010. Biomasa y cantidad de carbono almacenado en *Tabebuia hepyaphylla*, en un sistema agroforestal con *Ilex paraguariensis*. Integradora II. Facultad de Ciencias Forestales, Univ. Nacional de Misiones, Argentina. 31pp.
- Mendelsohn, R.; A. Dinar. 1999. Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter? *The World Bank Research Observer* 14: 277-293.
- Montagnini, F. *et al.*, 1992. *Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos*. 2da. ed. rev. y aum. Organización para Estudios Tropicales (OTS). San José, Costa Rica. 622 pp.
- Montagnini, F.; P. K. Nair. 2004. Carbon Sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 61: 281-295.
- Montagnini, F.; C. Finney. 2011. Payments for Environmental Services in Latin America as a tool for restoration and rural development. *Ambio* 40: 285-297.
- Montagnini, F., Eibl, B., Barth, S. R. 2011. Organic yerba mate: an environmentally, socially and financially suitable agroforestry system. *Bois et Forêts des Tropiques* 308: 59-74.
- Montero, M.; F. Montagnini. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies forestales nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Rec. Nat. y Ambiente (Costa Rica)* 45: 118-125.
- Murgueitio, E.; C. Cuartas; J. Naranjo (Eds.). 2009. *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*. 2da. Ed. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 490 p.
- Murgueitio, E.; Z. Calle; F. Uribe; A. Calle; B. Solorio. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *For. Ecol. Manage.* 261 (10): 1654-63.
- Muschler, R.G. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agrofor. Syst.* 85: 131-139.
- Nair, P. K. R.; B. M. Kumar ; V. D. Nair. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172:10-23.
- Nair, P. K. R.; V. D. Nair; B. M. Kumar; J. M. Showalter. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Adv. Agron.* 108: 237-307.
- Pinto, H.S.; E. D. Assad; J. Zullo Jr; O. Brunini. 2002. O aquecimento global e a agricultura. *Mudanças Climáticas. Com. Ciência* 34, August 2002. Disponible en: <http://www.comciencia.br/>.
- Piotto, D.; D. Craven; F. Montagnini; F. Alice. 2010. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native tree species plantations on degraded pasturelands in humid Costa Rica. *New For.* 39: 369-385.
- Rainforest Alliance. 2009. Guidance on coffee carbon project development using the simplified agroforestry methodology. Disponible en: http://www.thereddesk.org/sites/default/files/resources/pdf/2010/rainforest_alliance_coffee_carbon_guidance_v2_august_09.pdf. Consultado Junio 5, 2011.
- Somarriba, E.; J. Beer; J. A. Orihuela; H. Andrade; R. Cerda; F. DeClerck; G. Detlefsen; M. Escalante; L. A. Giraldo; M. A. Ibrahim; L. Krishnamurthy; V. E. MENA; J. R. Mora; L. Orozco; M. Scheelje; J. J. Campos. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. *In*: Nair, P.K.R.; D. P. Garrity (Eds.). *Agroforestry: The future of global land use*. Springer, The Netherlands (in press).
- Soto-Pinto, L.; I. Perfecto; J. Castillo-Hernández; J. Caballero-Nieto. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agric. Eco. Environ.* 80 (1-2): 61-69.
- Verchot, L. V.; M. Van Noordwijk; S. Kandji; T. Tomich; C. Ong; A. Albrecht; J. Mackensen; C. Bantilan; K. V. Anupama; C. Palm. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Global Change* 12:901-918.

ATIVIDADE DA MACROFAUNA EDÁFICA NO SOLO E SERAPILHEIRA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO SUDOESTE DO PARANÁ

ACTIVITY OF SOIL MACROFAUNA IN SOIL AND LITTER IN AGROFORESTRY SYSTEMS IN SOUTHWESTERN PARANÁ

Topanotti, L. R.¹, Gesser, M. J.², Derengoski, J. A.², Figueira, F. C.², Duarte, E.², Pinheiro, L. B. A.³

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Florestal, bolsista PET Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos, Paraná. Email: larissatopanotti@yahoo.com.br;

² Acadêmicos do curso de Engenharia Florestal da UTFPR – DV. Email: mauriciogesser@gmail.com; derengoski.josi@gmail.com; francianifigueira@gmail.com; edy_duarte1@hotmail.com;

³ Engenheira Florestal, Dra. Prof. do curso de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos-PR. Email: lianepin@hotmail.com.

Resumo

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) se baseiam na conservação e sustentabilidade, garantindo máxima eficiência do uso do solo e a fertilidade deste, sendo a qualidade do solo primordial para o bom funcionamento desse sistema. Indicadores, como a fauna edáfica, permitem verificar essa qualidade. Este trabalho objetivou caracterizar a distribuição da macrofauna no solo e serapilheira antes da implantação de sistemas agroflorestais em cinco diferentes áreas. Para isso, foram realizadas coletas de solo e serapilheira em 10 pontos aleatórios de 05 futuras agroflorestas. Posteriormente, foram distribuídas em funis de Berlese para extração dos organismos e triagem com lupa binocular. A partir dos dados, calculou-se a densidade, riqueza, índice de Shannon-Weaver e índice de Pielou. Os resultados demonstraram que há diferenças da atividade da fauna edáfica entre solo e serapilheira, sendo que, neste estudo, houve maior número de organismos, densidade e riqueza no solo, porém maior diversidade e equitabilidade nas coletas de serapilheira. Com o desenvolvimento das agroflorestas, será possível acompanhar a atividade e evolução da fauna edáfica nesses sistemas.

Palavras-chave: fauna edáfica, qualidade do solo, diversidade.

Summary

The Agroforestry (SAF's) are based on the conservation and sustainability, ensuring maximum efficiency of land use and fertility of this, and soil quality vital for the proper functioning of this system. Indicators such as soil fauna, ascertaining this quality. This study aimed to characterize the distribution of macrofauna in soil and litter prior to the implementation of agroforestry systems in five different areas. For this, samples were taken from soil and litter in 10 of 05 random points agroforestry future. Later, they were distributed in a Berlese extraction and sorting of organisms with binocular microscope. From the data, we calculated the density, richness, Shannon-Weaver index and evenness index. The results showed that there are differences in the activity of soil fauna between soil and litter, and in this study, a higher number of organisms in the soil density and richness, but higher diversity and evenness in the collection of litter. With the development of agroforestry, you can monitor the activity and evolution of soil fauna in these systems.

Key words: soil fauna, soil quality, diversity.

Introdução

A devastação ambiental observada desde o início da colonização tem trazido consequências graves ao meio ambiente: erosão, perda de nutrientes do solo por lixiviação, diminuição da diversidade biológica, dentre outros, sendo que todos estes estão ligados, direta ou indiretamente, com a retirada da cobertura vegetal desses ambientes. Na tentativa de minimizar ou extinguir esses efeitos, várias práticas conservacionistas e sustentáveis têm sido difundidas (PAULA, 2008), como os sistemas agroflorestais (SAF's), que garantem a manutenção do componente arbóreo nos sistemas agrícolas, aumentam a eficiência do uso da terra, diversificam a produção agrícola, melhoram a utilização do solo e ambiente, diminui o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, conservação da biodiversidade e recuperação de fragmentos florestais e matas ciliares (AMADOR e VIANA, 1998; MACHADO et al, s/d).

Os SAF's podem ser compostos por poucas ou por muitas espécies por unidade de área, geralmente com muita diversidade de espécies, que podem consorciar desde herbáceas, agrícolas e espécies arbóreas (PAULA, 2008).

Os sistemas agrossilviculturais, que se baseiam no consórcio entre espécies florestais e de culturas, permitem o cultivo de espécies com ciclo de produção longo (florestais), associado a atividades agrícolas, que tem um ciclo mais curto. Esta é uma alternativa altamente rentável, juntamente com outras formas de sistemas agroflorestais, pois permite a diversificação da propriedade rural, obtenção de renda com a atividade agrícola durante o crescimento de espécies florestais na mesma unidade de área e geração de empregos na área rural (MACHADO et al, s/d). Pode-se, também, associar plantas herbáceas medicinais com árvores frutíferas ou madeireiras.

Nos sistemas agroflorestais, o uso de diferentes espécies vegetais, desde herbáceas até arbóreas, permite a manutenção da fertilidade do solo. A qualidade do solo nesse sistema, e para quaisquer atividades agrícolas e /ou florestais, é fundamental. Uma forma de se verificar a qualidade do solo com o qual se está trabalhando é através de indicadores, que permitem avaliar as práticas de manejo, relacionar a qualidade do solo a outros fatores, identificar o estado de conservação do solo, dentre outras funções. Há vários indicadores, como os biológicos, que consideram medições de organismos que vivem no solo, bem como suas atividades e influência na qualidade deste, exemplos são raízes de plantas, micorrizas, populações de minhocas, nematoides e insetos, dentre outros (USDA, 1996).

Os organismos que habitam o solo desempenham um papel muito importante para a qualidade deste, sendo que os vários grupos que compõem a fauna edáfica desempenha uma determinada função (VARGAS e HUNGRIA, 1997). Bactérias, fungos e protozoários distribuem-se no solo em milhões ou bilhões de indivíduos por decímetro cúbico, sendo primordiais para a decomposição de matéria orgânica e na formação de compostos organo-minerais. Térmitas, formigas e minhocas, cuja quantidade varia com as características edafoclimáticas regionais, atuam na decomposição e incorporação de restos orgânicos, juntamente com a mobilidade desse material, facilitam a liberação de nutrientes desses materiais para as plantas e estabelecem relações interespecíficas com outros organismos edáficos (VARGAS e HUNGRIA, 1997), além de serem conhecidos como “engenheiros do ecossistema”, pois suas atividades geram estruturas biogênicas (galerias, ninhos, câmaras e bolotas fecais), que influenciam nas características físicas do solo, sobretudo estruturais, como mineralização de carbono e nitrogênio, desnitrificação ou fixação de nitrogênio, infiltração de água, etc. (LAVELLE, 1996; LAVELLE et al, 1997).

Algumas classificações foram realizadas a fim de subdividir a fauna edáfica, facilitando o estudo de suas funções. Segundo Swift et al (1979), a microfauna abrange organismos com diâmetro corporal de 4 a 100 μm , como protozoários e nematóides. A mesofauna inclui animais com diâmetro corporal de 100 μm a 2 mm (ácaros e colêmbolos) e a macrofauna abrange animais com diâmetro corporal de 2 a 20 mm. Na macrofauna, objetivo desse estudo, se inserem praticamente todos os grupos taxonômicos da mesofauna, exceto Acari, Collembola, Protura e Diplura e inserindo Annelida e Coleoptera.

Esse trabalho teve por objetivo caracterizar a distribuição da macrofauna no solo e serapilheira antes da implantação de sistemas agroflorestais em cinco diferentes áreas.

Materiais e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido em cinco propriedades rurais, onde em cada uma seria instalado, posteriormente, um sistema agroflorestal, durante os meses de agosto e setembro de 2011. As propriedades se localizavam nos municípios Dois Vizinhos, Capanema, Coronel Vivida, Ampere e Manfrinópolis, localizados na região Sudoeste do Paraná. Esses municípios se localizam entre as coordenadas 25° de latitude Sul, exceto Manfrinópolis, localizado a 26° de latitude sul e a 53° de longitude oeste. Dois Vizinhos tem uma área total de 418,32 km², com uma altitude média de 509 m (PORTAL DOIS VIZINHOS, 2012). Capanema possui uma área de 418,70 km² e altitude média de 368 m (TRILHA BRASILESES, 2012). Coronel Vivida tem uma área total de 684,417 km² e tem uma altitude média de 718 m (TRILHA BRASILESES, 2012). Ampere possui 303,00 km² de área total e altitude de 521 m (CITY BRASIL, 2012). Manfrinópolis tem área de 216 m² e 650 m de altitude.

Os principais solos da região Sudoeste são litólico, nitossolo e latossolo e o clima dessa região é Subtropical Úmido Mesotérmico, do tipo Cfa, segundo classificação de Köppen, comuns a todos os municípios citados.

As coletas de solo e serapilheira foram realizadas anteriormente a implantação das mudas das agroflorestas, sendo que a área de Capanema estava com solo nu. Na área de Coronel Vivida, a área havia sido recentemente roçada, onde a palhada ainda estava no solo, conferindo uma boa quantidade de serapilheira, sendo que localizava-se em um morro. Em Dois Vizinhos, a propriedade apresentava cobertura por gramíneas. E, em Manfrinópolis, a área tinha cobertura vegetal rasteira e era localizada num morro. Ampere apresentava uma pequena deposição de material vegetal no solo. Nas áreas onde não havia serapilheira, foi coletada a camada superficial do solo.

Em cada propriedade, foram escolhidos 10 pontos aleatórios em cada propriedade, e, nesses pontos, realizou-se a coleta de solo e serapilheira, utilizando um quadrado de metal de 25 cm x 25 cm., o que resulta em uma área de 625 cm², representando 1/16 de um hectare. As amostras de solo e serapilheira foram separadas e identificadas individualmente. As coletas foram levadas para o laboratório e postas em funis extratores de fauna, tipo Berlese-Tüllgren, que se baseiam na característica dos organismos de fugir do calor proporcionado por uma fonte térmica (no caso, uma lâmpada), conforme ilustrado na Figura I.

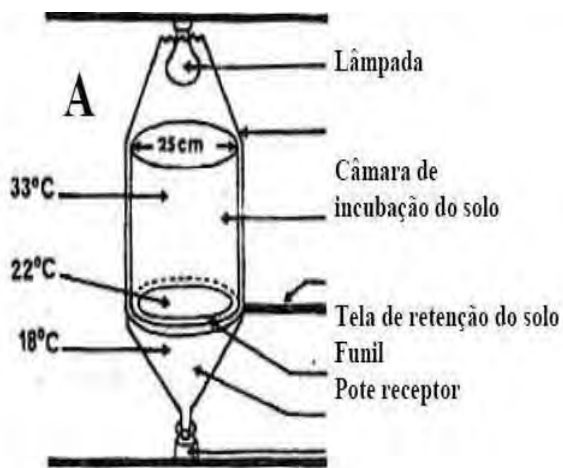


Figura I: Ilustração dos funis extratores. A. Elementos do equipamento (Fonte: SILVA, 2006). B. Visualização da disposição do equipamento (Acervo pessoal).

Figure I: Illustration of the funnel extractors. A. Items of equipment (Source: SILVA, 2006). B. Visualization of the disposition of equipment (Personal Collection).

As amostras de solo e serapilheira foram colocadas nos funis sob iluminação de lâmpadas de 60 W durante um período de 15 dias. Na extremidade do funil, coloca-se um recipiente contendo solução conservante de formol a 4%, para onde os organismos migram, em sentido contrário à fonte luminosa.

Dentro do extrator, são dispostas telas para retenção do solo e com aberturas de no máximo 2 cm, para selecionar a macrofauna do solo. Na extremidade maior do funil, foi colocado um tecido, impossibilitando a entrada e/ou saída de organismos no equipamento. Após passar o período de extração dos organismos, é realizada a triagem, ou seja, a identificação dos táxons com o auxílio de lupa binocular.

Após a triagem, os dados foram tabulados usando o software Microsoft Office Excel®, calculando-se os índices de diversidade de Shannon-Weaver, e equitabilidade de Pielou, a riqueza da fauna (número de táxons identificados) e a quantidade de indivíduos por metro quadrado. O índice de Shannon-Weaver é estimado através da equação: $H' = -\sum p_i * \ln p_i$, onde p_i =número de indivíduos amostrados do grupo taxonômico/número total de indivíduos, \ln =logaritmo neperiano e revela a riqueza de espécies e sua abundância relativa (SHANNON & WEAVER, 1949). O índice de Pielou é calculado através da seguinte equação: $J = \frac{H'}{\ln S}$ onde H' = índice de Shannon-Weaver e S = número total de grupos taxonômicos e este índice revela o padrão de distribuição dos indivíduos entre os táxons (PIELOU, 1977). A quantidade de indivíduos por metro quadrado é obtida por meio da multiplicação da quantidade de indivíduos encontrados por táxon por 16 (pois o quadrado metálico utilizado na amostra, 25x25 cm, corresponde a 0,0625 m²).

Resultados e Discussão

Foram identificados no total 2568 indivíduos nas cinco propriedades, sendo 1480 (57,63%) oriundos das coletas de solo (20-25 cm de profundidade) e 1088 (42,37%) provenientes das coletas de serapilheira. Observa-se que apareceu maior quantidade de organismos nas amostras de solo, indicando que há uma boa resiliência destes nesse habitat. No entanto, a quantidade minoritária de indivíduos na serapilheira deve-se ao fato que esta foi

a primeira coleta realizada, antes do plantio de mudas, sendo que apenas as áreas de Coronel Vivida, Dois Vizinhos e Manfrinópolis apresentavam cobertura vegetal.

Na figura II, observa-se a distribuição dos grupos mais representativos. De 1088 organismos encontrados na serapilheira, o táxon mais representativo foi a família Formicidae, com 18,70%, seguindo da Ordem Coleoptera e larvas de Coleoptera. No solo, dos 1480 organismos identificados, o táxon mais representativo foi a família Formicidae, com 33,58%, seguida pela ordem Coleoptera e larvas de Coleoptera. Percebe-se que, tanto na serapilheira quanto no solo, os grupos mais representativos são os mesmos.

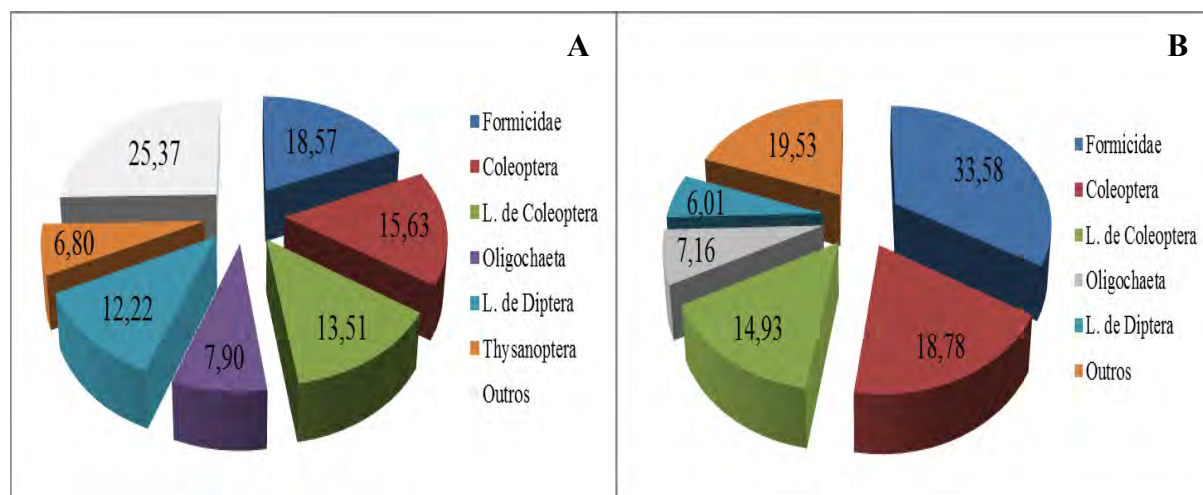


Figura II: Abundância dos principais táxons encontrados na serapilheira (%) (II.A) e no solo (%) (II.B).

Figure II: Abundance of the main taxa found in the litter (%) (II.A) and ground (%) (II.B).

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Derengoski et al (2011), em estudo com armadilhas tipo Pitfall, realizados em um remanescente florestal, onde os grupos taxonômicos mais representativos foram Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Formicidae e Orthoptera, onde dois táxons mais numerosos, Coleoptera e Formicidae, correspondem aos mesmos mais abundantes nesse estudo. Silva (2006), nas coletas de fauna edáfica realizadas no verão, percebeu que as formigas também foram o grupo que apresentou maior atividade em dois tratamentos. Moço et al (2005) perceberam dominância do grupo Hymenoptera, especificamente formigas, nos solos de todas as coberturas vegetais com que trabalharam, tanto no verão quanto no inverno, exceto na floresta preservada, com maior abundância do táxon Homoptera.

Quanto ao número de indivíduos por metro quadrado (densidade), observa-se que a agrofloresta em Coronel Vivida (CV) foi a que apresentou abundância significativa de organismos, 851,20 indivíduos por metro quadrado no solo e 686,4 indivíduos por metro quadrado na serapilheira (Tabela 1). Capanema (CP) foi a que apresentou menores valores de indivíduos por metro quadrado, 337,60 e 137,6, para solo e serapilheira, respectivamente. Entretanto, quanto ao solo, Capanema supera Ampère (AP), que apresentou um valor de 315,20 organismos por metro quadrado, mas Ampère supera Capanema quanto a serapilheira.

Tabela I: Densidade, riqueza e total de organismos por agrofloresta no solo e serapilheira.

Table I: Density, total wealth and organismos for agroforestry in soil and litter.

Agroflorestas	Densidade (Indivíduos por m ²)		Riqueza		Total de organismos	
	Solo	Serapilheira	Solo	Serapilheira	Solo	Serapilheira
DV	416	299,2	6,9	6,8	260	187
AP	315,2	232	5,6	4,2	197	145
CV	851,2	686,4	10,5	9,6	532	429
CP	337,6	137,6	5,4	3,1	211	86
MF	448	385,6	5,8	6,5	280	241

DV=Dois Vizinhos, AP=Ampère, CV=Coronel Vivida, CP=Capanema e MF=Manfrinópolis.

Quanto à riqueza de espécies, ou seja, a quantidade de grupos identificados, observa-se que há uma relação entre esse fator e o número de indivíduos por metro quadrado: em Coronel Vivida (CV), houve maior riqueza e uma alta densidade. Dois Vizinhos (DV) também apresentou um bom número de grupos, tanto na serapilheira quanto no solo, assim como Manfrinópolis (MF), gerando bons índices de indivíduos por metro quadrado. Ampère (AP) e Capanema (CP), que tiveram os menores valores de densidade, também exibiram menor número de grupos identificados em comparação com as demais agroflorestas (Tabela I).

Esses resultados estão associados com a quantidade de vegetação existente nas áreas de estudo durante as coletas. Observa-se que Capanema e Ampère, por apresentarem solo sem vegetação, tiveram os menores resultados de densidade em relação as demais agroflorestas. Como Coronel Vivida era a área que tinha maior depósito de serapilheira, e, por sua vez, maior disponibilidade de alimentos, a quantidade de indivíduos nesse ambiente é maior. Segundo o índice de Shannon-Weaver (Tabela 2), em Dois Vizinhos a agrofloresta apresentou os maiores índices, indicando a presença de vários grupos, de igual ou parecida abundância, gerando alta diversidade. Capanema, especificamente a serapilheira, apresentou o menor valor, indicando baixa diversidade. Nota-se que Coronel Vivida, que teve altos valores de diversidade e riqueza, não atingiu os maiores índices, mas sem dúvida, é uma área com muita diversidade de organismos.

Tabela 2: Índices de Shannon e de Pielou referentes às agroflorestas em estudo.

Table 2: Scores Shannon and Pielou relating to agroforestry in the study.

Agroflorestas	Índice de Shannon		Índice de Pielou	
	Solo	Serapilheira	Solo	Serapilheira
Dois Vizinhos	3,07	3,49	0,71	0,82
Ampère	2,59	2,96	0,70	0,78
Coronel Vivida	2,89	3,18	0,64	0,70
Capanema	2,71	2,52	0,66	0,68
Manfrinópolis	2,79	3,40	0,71	0,82

A diversidade de organismos está relacionada à disponibilidade de alimentos e abrigos para os indivíduos. Gandara et al (2007) notaram que as áreas com frutíferas apresentaram os maiores índices de Shannon, devido à maior diversidade vegetal, que confere alimento a uma

gama de organismos e ao sombreamento parcial da área, gerando um microclima agradável a fauna local. Nesse mesmo trabalho, áreas de plantio direto tiveram baixos índices de Shannon, enquanto que sistemas agroflorestais exibiram maiores índices, indicando que esses sistemas favorecem a diversidade de fauna do solo.

Quanto ao índice de Pielou, segundo Silva (2006), expressa a uniformidade na abundância dos grupos taxonômicos dentro de uma comunidade, sendo que baixos índices revelam situações de intensa dominância de poucos grupos taxonômicos. Assim, em relação à serapilheira, Capanema foi o que apresentou menor índice de Pielou, demonstrando que há dominância de um ou poucos táxons nessa área e Dois Vizinhos é o que demonstra ter uma maior equitabilidade entre os grupos taxonômicos. Sobre o solo, o menor índice corresponde a Coronel Vivida, onde há relações de dominância entre os grupos. As áreas com maior equitabilidade são Dois Vizinhos e Manfrinópolis.

Em trabalho desenvolvido por Moço et al (2005), caracterizando a fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais, os autores perceberam que houve variação do índice de Pielou de acordo com as coberturas vegetais. Na floresta não preservada e de eucalipto, esse índice reduziu no inverno, tanto para solo quanto para serapilheira, ao contrário do solo da capoeira, que teve um aumento nessa época. Isso decorre, segundo os autores, do fato de que no verão as condições climáticas permitem a formação de um microclima entre o solo e serapilheira, que melhora o desenvolvimento vegetal e a oferta de alimentos e abrigos para a fauna edáfica.

Assim, percebe-se que as piores condições edáficas para o desenvolvimento de fauna nesse ambiente são as encontradas em Capanema, devido ao reduzido número de organismos ali presentes, baixa riqueza, densidade e índices de Shannon e Pielou que demonstram relação de dominância de um táxon sobre o outro. Ampére também é uma área com pequena densidade, riqueza e número total de organismos, com índices de Shannon razoáveis e bons índices de Pielou, demonstrando equitabilidade entre os grupos nessa agrofloresta. Coronel Vivida apresentou ótimos valores, porém seu índice de Pielou revela a dominância de poucos grupos, um desequilíbrio entre populações. Dois Vizinhos e Manfrinópolis foram as agroflorestas que apresentaram os melhores resultados, pois em todos os quesitos avaliados, tiveram valores excelentes, simbolizando a boa conservação dos solos dessa área.

Conclusões

Os compartimentos solo e serapilheira influenciaram na atividade da fauna edáfica, pois houve maior número de organismos no solo do que na serapilheira, haja vista a pequena quantidade de serapilheira encontrada nas áreas das futuras agroflorestas. Entretanto, quanto a diversidade e equitabilidade, expressos pelos índices de Shannon-Weaver e Pielou, os resultados encontrados na serapilheira foram maiores. Percebeu-se uma relação entre número de indivíduos e densidade e riqueza nas agroflorestas, sendo que, na maioria destas, maior quantidade de organismos identificados resultou em maior densidade e riqueza. Com o desenvolvimento futuro dessas agroflorestas, será possível monitorar a atividade da fauna edáfica nesse sistema e acompanhar sua evolução, permitindo avaliar o comportamento desses organismos ao longo do desenvolvimento das espécies inseridas nesses sistemas.

Agradecimentos

Ao CNPQ pelo financiamento do projeto.

A Assessor que conduz a experiência com as agroflorestas.

À equipe de trabalho que está envolvida nesse projeto de implantação de agroflorestas na região Sudoeste do Paraná, cujo objetivo é disseminar os conhecimentos relativos aos sistemas agroflorestais nas propriedades rurais, como um meio de produção eficaz e sustentável, tendo em vista a necessidade desse tipo de informação. Além disso, esse projeto visa, também, desenvolver tecnologia aplicável ao contexto da agricultura familiar da

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.

7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

microrregião produtora do sudoeste do Paraná e incorporar conhecimentos científicos no cotidiano popular, com a implantação de 40 agroflorestas no sudoeste do Paraná.

Bibliografia

- AMADOR, D. B.; VIANA, V. M. 1998. **Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais**. ESALQ/USP. Série técnica IPEF, v. 2, n. 32, p. 105-110.
- CITY BRASIL. 2012. **Ampère**. Disponível em: <http://www.citybrazil.com.br/pr/ampere/index.php>. Acesso em 20 mar 2012.
- DERENGOSKI, J. A.; PINHEIRO, L. B. A.; FIGUEIRA, F. C.; DUARTE, E.; BECHARA, F. C. 2011. Utilização de armadilhas do tipo "Pitfall" para avaliação da atividade da macrofauna epígea na trilha ecológica do Câmpus da UTFPR-Dois Vizinhos. In: do I Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR – Câmpus Dois Vizinhos. **Anais... UTFPR, Dois Vizinhos**, p. 217-220.
- GANDARA, F.; MELO, C.; GRIMALDI, M.; OLIVEIRA, G. de; SANTILLI, C.; MARCHIORI, L. F. 2007 Análise comparativa da macrofauna do solo de um sistema agroflorestal e um agrícola convencional em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n., 2.
- LAVELLE, P. 1996. **Diversity of soil fauna and ecosystem function**. Biology International, n. 33.
- LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. 1997. **Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers**. European Journal Soil Biology, New Jersey, v. 33, p. 159-193.
- MACHADO, V. D.; SANTOS, M. V.; SANTOS, L. D. T.; MOTA, V. A.; SANTOS JÚNIOR, A. dos. 2011. **Sistemas agroflorestais**. Disponível em: < <http://www.ilpf.com.br/artigos/sistemas%20agroflorestais.pdf>>. Acesso em 12 fev 2011.
- MOÇO, M. K. da S.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; CORREIA, M. E. F. 2005. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na Região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 555-564.
- PAULA, P. D. de. 2008. **Desempenho de leguminosas no estabelecimento de um sistema agroflorestal**. 80 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- PIELOU, E.C. 1977. **Mathematical ecology**. New York, Wiley, 385p.
- PORTAL DOIS VIZINHOS. 2012. **Sobre o município – área e localização**. Disponível em: <http://www.portaldoisvizinhos.com.br/>. Acesso em 15 mar 2012.
- SHANNON, C.E.; WEAVER, W. 1949. **The mathematical theory of communication**. Urbana, Universidad Illinois Press, 117p.
- SILVA, M. S. C. 2006. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. 66 f.
- SILVA, R. F. da; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. 2006. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 14, n. 4.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M., eds. 1979. **The decomposer organisms**. In: Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Berkeley, University of California Press, p.66-117.
- TRILHA BRASILESES. 2012. **Municípios cadastrados: Capanema/PR e Coronel Vivida/PR**. Disponível em: <http://viajebrales.com/cidade.php>. Acesso em 20 mar 2012.
- UNI REGISTRO CIDADES. 2012. **Manfrinópolis**. Disponível em: <http://www.uniregistro.com.br/cidades-do-brasil/parana/manfrinopolis/>. Acesso em 20 mar 2012.
- USDA, United States Department of Agriculture. 2012. **Indicators for Soil Quality Evaluation**. 1996. Disponível em: < http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq_thr_2.pdf>. Acesso em 19 mar 2012.
- VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M., ed. 1977. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC.

CONSOLIDADO DE CAMINOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE MISIONES

IMPROVING OF FOREST ROADS IN THE PROVINCE OF MISSIONS

Domene A.¹

¹Ingeniero Civil, Supervisor de caminos Alto Paraná S.A. Puerto Esperanza, Ruta Nacional 12 Km 1595, Misiones, Argentina. aedomene@altoparana.com

Resumen

El consolidado de caminos con áridos es de fundamental importancia en el transporte forestal debido a que permite, entre otras cosas, la circulación de los vehículos de carga en días de lluvia o bien con excesiva humedad, lo que no podría realizarse en caminos de tierra. El presente trabajo expone aspectos relacionados a la calidad del material empleado para el consolidado (basalto intemperizado), control de la calidad, procedimiento de ejecución y factores que influyen en el desempeño del consolidado como ser el reposo del material antes de su uso y el despeje de vegetación en los sectores laterales del camino.

Palabras clave: Basalto intemperizado, subrasante, base, perfilado, compactación.

Summary

Roads improvement with aggregate is of fundamental importance in forest transportation because it allows, among other things, the movement of freight vehicles on rainy days, which could not be done on dirt roads. This document presents aspects related to the quality of the material (altered basalt) to be added material, quality control test and procedures for construction. It also analyzes other factors influencing the road performance such as material maturing and road clearance.

Key words: Altered basalt, subgrade, base, shaping, compaction.

Introducción

Los suelos de la provincia de Misiones están formados básicamente por material arcilloso proveniente de la intemperización natural del material parental de base: la roca basáltica. Estos suelos conocidos como “lateríticos” presentan un típico color rojizo y cuando están húmedos presentan una elevada plasticidad y escasa capacidad portante, además de ser extremadamente resbaladizos. Los caminos forestales en la gran mayoría de los casos, se constituyen con este mismo material, lo cual complica su utilización en días de lluvia o bien cuando se encuentran húmedos. Como material para el consolidado de caminos en la provincia de Misiones se utiliza ampliamente el basalto intemperizado llamado vulgarmente “tosca”¹, por ello al consolidado de caminos con basalto intemperizado se lo denomina “entoscado”. El consolidado mejora las cualidades mecánicas del camino y además brinda una superficie de rodamiento de tipo rugosa que ayuda a que los vehículos de carga no derrapen hacia la cuneta bajo condiciones de lluvia o humedad extrema. Las razones de la utilización del basalto intemperizado para la estabilización de caminos se deben a que es un material abundante en la región, de fácil extracción, económico y de buen comportamiento estructural.

¹En adelante se utiliza indistintamente el término basalto intemperizado o tosca

Como punto desfavorable se puede considerar que es un material muy heterogéneo hallándose en diferentes tipos de calidad inclusive en una misma cantera. La calidad del basalto intemperizado está relacionada con el grado de meteorización del basalto original y como es un material resultante de un proceso de descomposición o intemperización natural, la vida útil del consolidado está ligada a este proceso. Otros tipos de materiales pueden utilizarse para la estabilización de caminos como en el caso del estabilizado granular de piedra, pero tienen un costo prohibitivo en la región dado que son el producto de la trituración mecánica de bloques de roca basáltica que por lo general se obtienen de la voladura de vetas o planchas de basalto.

Material y métodos

La estructura de un camino forestal básicamente está conformada por dos capas, la subrasante (terreno natural compactado) y la base de material consolidado que en este caso sería el basalto intemperizado o tosca (**gráfico n° 1**). Las características geométricas de la capa de consolidado (ancho y espesor) son variables en función de las necesidades y requerimientos, pero el espesor es el que está relacionado con la capacidad portante del camino (**tabla n° 1**).

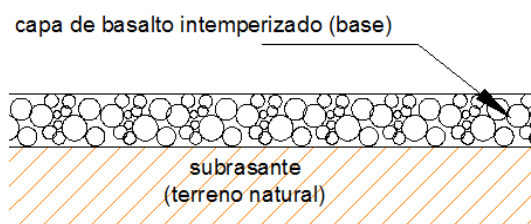


Gráfico n° 1: Estructura camino forestal
Graphic n° 1: Forest road structure

Tabla n° 1: Características geométricas promedio de la capa de consolidado con tosca
Table n° 1: Average geometric characteristics of the altered basalt layer

Característica	Parámetro
Ancho de la carpeta de consolidado	4.50 m
Espesor carpeta antes de compactar (volumen suelto de tosca)	0.22 m
Espesor carpeta compactada	0.13 m
Volumen suelto de tosca a colocar antes de compactar por Km	990 m ³ /km

Calidad del basalto intemperizado (tosca)

La propiedad más importante de este material es la resistencia al desmenuzamiento o impacto. La calidad se puede inferir mediante una inspección visual y táctil del material (**tabla n° 2, imágenes n° 1 y n° 2**). Para obtener una mayor precisión se deben ejecutar ensayos sobre muestras del material extraído de cantera (**tabla n° 4**).

Tabla n° 2: Guía para la inspección visual de la calidad del basalto intemperizado
Table n° 2: Guide for the visual inspection of the altered basalto quality

Aspecto	Calidad	Características
Color	Buena	Gris claro
	Regular	Gris oscuro o gris claro con tonalidades violáceas
	Mala	Gris con tonalidades verdes, gris amarillento
Peso	Buena	Peso similar a una roca de basalto

	Mala	Peso ligero
Resistencia al impacto	Buena	Al chocar dos pedazos entre si quedan por lo menos dos bochas de material
	Mala	Al chocar dos pedazos entre si se desmenuzan completamente
Presencia de finos	Buena	10-20% de finos
	Mala	mayor a 30% de finos



Imagen n° 1: Tosca de buena calidad
Picture n° 1: Good quality altered basalt



Imagen n° 2: Tosca de mala calidad
Picture n° 2: Poor quality altered basalt

Perfilado de la subrasante del camino con motoniveladora

La subrasante debe perfilarse para eliminar las ondulaciones y para obtener la pendiente transversal de la sección del camino necesaria para el escurrimiento del agua superficial. Dicha pendiente transversal debe ser como máximo del 3% (gráfico n° 2).

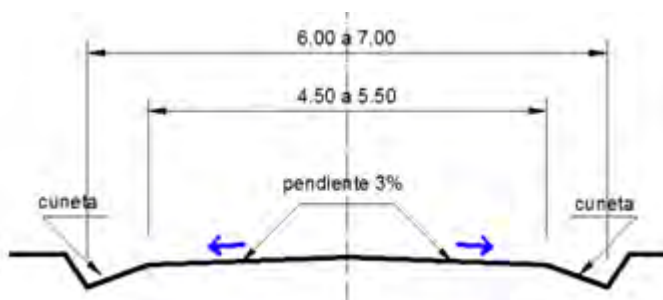


Grafico n° 2 : Perfil transversal camino tipo
Graphic n° 2: Typical road cross section

Riego de la subrasante y compactación con rodillo tipo “pata de cabra”

El riego de la subrasante se realiza para asegurar que el suelo tenga la humedad óptima para lograr su máxima compactación. El grado de humedad óptima se determina con el ensayo Proctor T-99; no obstante ello, para medirla de forma aproximada en campo se puede tomar una porción de material con la mano, debiéndose cohesionar sin ensuciar la palma de la mano mientras se lo manipula o aprieta (amasado).

La compactación se ejecuta con rodillo pata de cabra, siendo este tipo de compactador el ideal para los suelos arcillosos y cohesivos como los lateríticos. El efecto que produce es el amasado del suelo a través de las protuberancias metálicas del rodillo, compactando desde abajo hacia arriba. Las pasadas del rodillo compactador deben cubrir todo el ancho del camino, cuidando de que exista un solape entre pasadas sucesivas y compactando desde las orillas hacia el centro o eje del camino (gráfico n° 3). El número de pasadas será el necesario

para llegar a la densidad máxima exigida, en este caso una inspección visual debe comprobar que se marquen levemente las huellas de las protuberancias del rodillo sobre la superficie del camino. El grado óptimo de compactación se determina con el ensayo Proctor T-99 y el control de dicho valor en campo se realiza con el ensayo de densidad (cono de arena, densímetro nuclear o volumenómetro de membrana de goma).

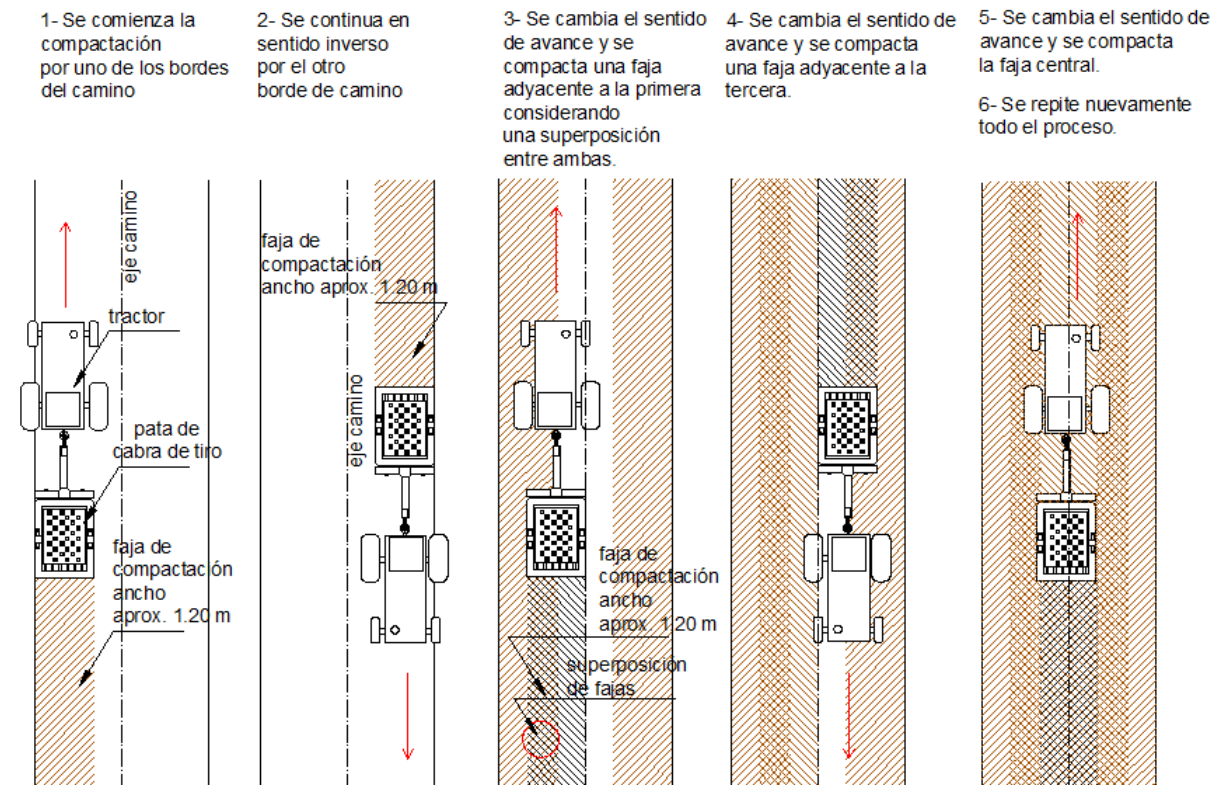


Grafico n° 3: Procedimiento de compactación con rodillo pata de cabra
Graphic n° 3: Kickstand roller compaction process

Transporte y distribución de la tosca sobre el camino con camiones volcadores

El avance en la producción de caminos consolidados con tosca depende fundamentalmente de la cantidad de camiones volcadores disponibles para el transporte de la tosca y de la capacidad de la caja de estos, teniendo en este punto gran incidencia la distancia existente entre la cantera y el tramo del camino donde se coloca el material (**tabla n° 3 y gráfico n° 4**). Los camiones volcadores deben distribuir el material contenido en sus cajas sobre la superficie del camino (subrasante), no depositándolo en un solo lugar, sino que distribuyéndolo a marcha lenta, de manera de lograr la mayor uniformidad posible para simplificar el posterior perfilado con motoniveladora (**imagen n° 4**).

Tabla n° 3 : Capacidad caja del camión y dimensiones promedio de los caballetes
Table n° 3: Capacity of the truck and average size of the stockpiles

Capacidad caja camión	N° viajes/km	Ancho promedio caballete (m)		Alto promedio caballete (m)		Largo promedio caballete (m)	
6	165	2,1	2,5	0,4	0,5	7	5
15	66	2,1	2,5	0,4	0,5	18	12
25 (batea)	40	2,1	2,5	0,4	0,5	30	20

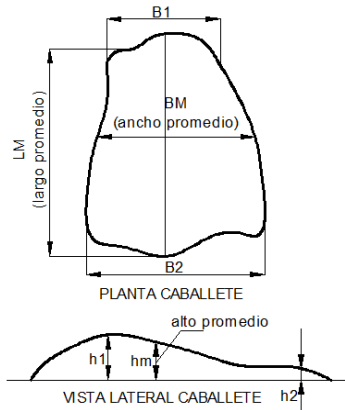


Grafico n° 4: Dimensiones caballete
Graphic n° 4: Stockpiles dimensions



Imagen n° 4: Caballetes o montículos de tosca distribuidos sobre la base
Picture n° 4: Stock-altered basalt distributed on the road

Distribución de la tosca con motoniveladora y riego con camión tanque

La distribución de los caballetes o montículos de tosca se efectúa con la hoja de la motoniveladora (imagen n° 5), de manera de obtener una capa de espesor suelto uniforme en todo el camino. Se deben eliminar los bochones de piedra (mayores a 30 cm) porque dificultan la compactación, no debiendo quedar depositados tampoco en las cunetas ya que obstruyen la circulación del agua. Una vez distribuido uniformemente el material se procede a regar el mismo con camión tanque hasta llegar al grado de humedad óptima para lograr su máxima compactación.



Imagen n° 5: Distribución de tosca con motoniveladora
Picture n° 5: Distribution of altered basalt with grader

Compactación de la capa de tosca con vibrocompactador

El procedimiento de compactación es similar al que se describió con el rodillo pata de cabra, es decir se comienza por las orillas y se sigue hacia el centro o eje, cuidando que exista superposición entre las pasadas sucesivas del equipo vibrocompactador.

La frecuencia de vibración y la velocidad del paso del rodillo deben ser acordes para compactar adecuadamente el material, de manera de no dejar sectores de la carpeta sin compactar (velocidad de traslación alta y/o frecuencias de vibración baja) y no provocar la fragmentación excesiva del material (velocidad de traslación baja y/o frecuencia de vibración alta).

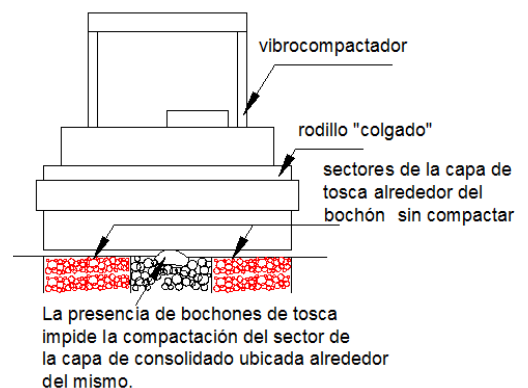


Gráfico n° 6: Compactación deficiente alrededor de bochones de piedra
Graphic n° 6: Poor compactation around bigger stones

La presencia de bochones de piedra² es perjudicial para la compactación de la capa de tosca porque el rodillo apoya solo en esos sectores puntuales, dejando sin compactar el sector circundante a los mismos (**gráfico n° 6**).

La compactación se ejecuta en pasadas sucesivas del equipo hasta comprobar que no se marque ahuellamiento del rodillo en la carpeta.

El grado óptimo de compactación se obtiene con el ensayo de densidad relativa, en tanto que el control de la densidad alcanzada se efectúa con el ensayo de densidad (cono de arena, densímetro nuclear, volumenómetro de membrana de goma).

Reposo del material

El concepto de reposo del material colocado y compactado se refiere al periodo por el cual no se debería utilizar el camino para transporte, siendo dicho tiempo mayor a 1 mes.

Cuando el consolidado con tosca es reciente el mismo es muy permeable por falta de material sedimentario fino que recubra y selle los vacíos dejados por los fragmentos gruesos (**imagen n° 8**). Con las lluvias, el agua penetra fácilmente hacia la subrasante del camino, humedeciéndola y debilitando su capacidad portante, razón por la cual el consolidado falla y así el camino se deforma e inutiliza para tránsito con carga. A medida que transcurre el tiempo y por acción del agua y el sol, la tosca se degrada naturalmente generando material fino que va sellando la superficie exterior del camino y generando una especie de capa superficial impermeable que protege a la estructura del camino de la acción del agua (**imagen n° 7**).



Imagen n° 7: Consolidación de tosca reposado

Picture n° 7: Mature road

Imagen n° 8: Consolidación de tosca no reposado

Picture n° 8: Immature road

Despeje lateral de caminos

El despeje de un camino consiste en el corte de los árboles y vegetación leñosa ubicada dentro de un ancho establecido a partir de sus orillas para que este pueda recibir la ventilación y la insolación necesaria para el secado u oreo natural. El ancho de estos despejes es variable y depende fundamentalmente de la orientación del camino (**gráfico n° 7**). La orientación que requiere mayor ancho de despeje es la este-oeste por sobre la orientación norte-sur.

La presencia excesiva de humedad hace perder capacidad portante a la estructura del camino, por ello esta debe ser oreada con rapidez (**imagen n° 9**). Por otra parte es necesario un grado mínimo de humedad en el camino ya que contribuye a mantener ligadas las partículas del suelo, evita la formación de polvo en suspensión y preserva la estructura.

²Este término refiere al basalto sano o levemente alterado (meteorizado)

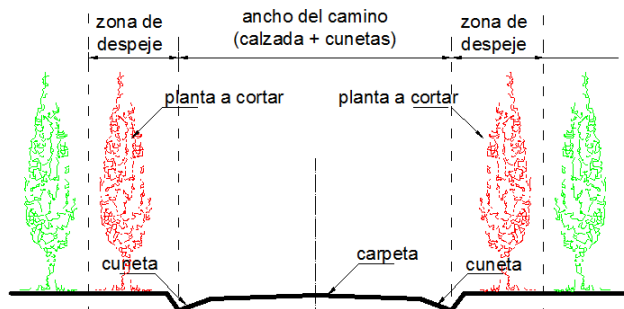


Gráfico n° 7: Esquema despeje de un camino
Graphic n° 7: Clearance of a road

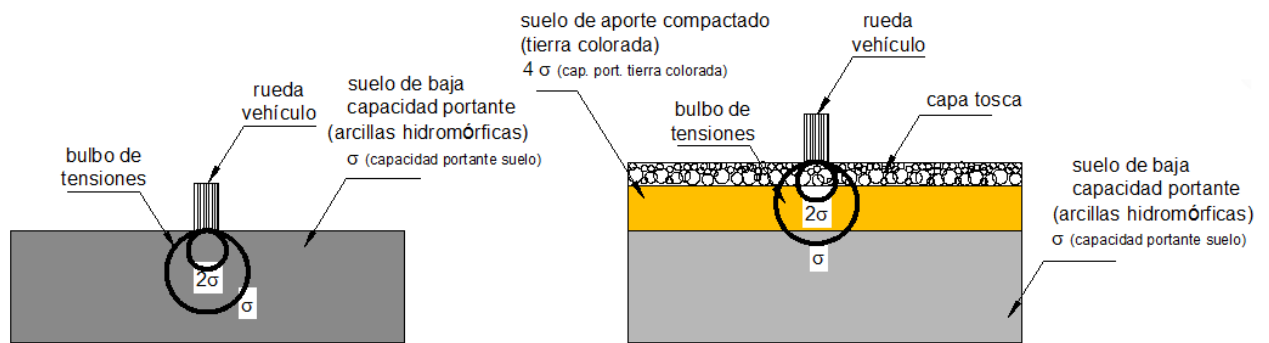


Imagen n° 9: Consolidado con tosca deteriorado por falta de despeje
Picture n° 9: Road impaired by lack of clearing

Saneamiento de suelos de poca capacidad portante

En los casos que el trazado del camino atravesase sectores con suelo constituido por arcillas hidromórficas (tierra negra o barro ñaú) de poca capacidad portante, se debe realizar el saneamiento local del mismo. Esta tarea consiste en la colocación de una capa de material compactado y de mayor capacidad portante sobre el terreno original. El material a colocar puede ser tierra colorada o basalto intemperizado (tosca). En los casos que el terreno tenga poca resistencia o se hunda con facilidad, se recomienda colocar una primera capa de tierra colorada y luego una capa de tosca en la parte superior. El espesor de la capa de tierra colorada compactada es variable, pero se recomienda que sea entre 15 cm y 30 cm.

La función que cumplen la capa de tierra colorada y de tosca es la de distribuir las tensiones que llegan hacia el suelo original, reduciéndolas hasta valores admisibles que eviten su deformación. La mejora del suelo con aporte de material apropiado, debe ser de un espesor tal que absorba o incluya las mayores tensiones del bulbo y que alcancen al terreno original solo las tensiones de menor valor que pueden ser soportadas por el mismo. El bulbo de tensiones de una carga representa la forma de distribución de las tensiones en el terreno, siendo cada línea una línea de igual tensión. A medida que se profundiza en el terreno, el bulbo aumenta su tamaño y disminuye el valor de las tensiones (**gráfico n° 8**).



En este caso la tensión producida por la rueda del vehículo "2σ" supera a la capacidad portante del suelo que es "σ". Al superarse la capacidad portante del suelo se produce el hundimiento del terreno.

Se coloca una capa de material de mayor capacidad portante, como lo es la tierra colorada compactada, en todo el espesor que abarque el bulbo de tensiones con tensiones mayores a la capacidad portante del terreno original "σ". Por debajo de la capa de suelo de aporte las tensiones deben ser menores que la capacidad portante del suelo original. Se observa que la tensión 2σ queda confinada a la capa de tosca y a la capa de tierra colorada sin alcanzar el terreno original, situación que produciría el hundimiento del mismo.

SUELO POCA CAPACIDAD PORTANTE SIN SANEAR

SUELO POCA CAPACIDAD PORTANTE SANEADO

Grafico n° 8: Distribución de carga sobre terreno no saneado y en terreno saneado
Graphic n° 8: Distribution of loads on unimproved road and improved road

Ejecución de ensayos para el control de calidad del consolidado

Los objetivos que se persiguen con la ejecución de ensayos son los siguientes:

- Calidad adecuada del basalto intemperizado (tabla n° 4).
- Compactación adecuada de la subrasante y capa de basalto intemperizado (tabla n° 4).

Tabla n° 4: Plan ensayos para control de calidad del consolidado de caminos con tosca

Table n° 4: Test plan for quality control of the improved roads with altered basalt

Designación	Ensayo	Normas de aplicación	Cantidad	Exigencia p/aprobación
Análisis canteras de basalto intemp.	1.1- Los Angeles	IRAM 1532 y Proyecto DPVM 01/07	1 x cantera	desgaste < 40%
	1.2- Absorción	VN-E13-67 y Proyecto DPVM 01/07	1 x cantera	< 10%
	1.3-Densidad relativa de suelos no cohesivos	ASTM D4253-4254	1 x cantera
	1.4- DCP en muestra compactada de ensayo densidad relativa. Correlación n° de golpes con densidad máxima.	ASTM D 6951-03	1 x cantera
Compactación subrasante	2.1- DCP en muestra compactada en molde Φ6" a 12, 25 y 56 golpes con humedad optima. Correlación n° de golpes con densidad máxima.	ASTM D 6951-03	1 x tramo
	2.2-Proctor T-99	AASHTO T-99	1 x tramo	

	2.3- Densidad (volumenómetro)	IRAM 10526	1 c/250 m en tresbolillo	> 95% Proctor T-99
	2.4- DCP in situ	ASTM D 6951-03	1c/50 m en coincidencia con ensayo de densidad	> 95% Proctor T-99
Compactación capa de basalto intemp.	3.1- Densidad (volumenómetro)	IRAM 10526	1 c/250 m en tresbolillo	Densidad relativa > 95% Densidad máxima
	3.2- DCP in situ	ASTM D 6951-03	1c/50 m en coincidencia con ensayo de densidad	Densidad relativa > 95% Densidad máxima

Resultados y discusión

En la provincia de Misiones se tienen en promedio alrededor de 90 días al año con precipitaciones, lo que representa casi el 25% del total de días disponibles. Contar con una red de caminos forestales consolidados con tosca, permite ampliar la ventana de días habilitados para el transporte de madera desde el bosque a las industrias, mejorando el desempeño de la flota de camiones y reduciendo los stocks de madera en playa.

De acuerdo al detalle de la tabla n° 5, se puede ver claramente la incidencia que tienen los caminos consolidados con tosca en el abastecimiento de madera a plantas industriales, ya que el 28% de toda la madera propia transportada durante el año 2011 en APSA, fue llevado a cabo bajo condiciones climáticas adversas (lluvia), demostrando la importancia y eficacia de este tipo de obras e inversiones en la red vial (tabla n° 5).

Días transportados	334
Días con lluvia transportados	104
Días con lluvia	117
Cantidad de lluvia (mm)	2151
Madera transportada (tn)	2.065.917
Madera transportada lluvia (tn)	578.555
Incidencia	28%

Tabla n° 5: Transporte madera propia APSA Año 2011

Table n° 5: OwntimbertransportAPSA Año 2011

Conclusiones

La ejecución de trabajos de consolidado y estabilizado con tosca en caminos forestales, es una práctica necesaria para asegurar el abastecimiento de madera a las industrias durante los periodos lluviosos. En Misiones es el procedimiento más recomendado y económico, ya que por lo general se dispone del material árido (tosca o basalto intemperizado) de forma abundante y a nivel superficial en yacimientos o canteras naturales.

Agradecimientos

Al Ing. Ricardo Austin, Gerente de Operaciones Forestales Alto Paraná S.A., a Javier Maestropaolo, Subgerente de Producción de la Gerencia de Operaciones Forestales Alto Paraná S.A. y al Ing. Flavio Pozzi, Jefe del Area de Transporte, Carga y Caminos Alto Paraná S.A., por incentivar y apoyar la elaboración de este trabajo.

Al Lic. Esteban Carabelli, Jefe del Sistema de Gestión Integrado de la Gerencia de Operaciones Forestales Alto Paraná S.A., por su colaboración con la traducción al idioma inglés de títulos e introducción.
A Luis Saenz, Supervisor de Caminos Alto Paraná S.A., por los aportes técnicos brindados.

Bibliografía

Castella, F. F.; Montes, L. F. "Introducción a la compactación vibratoria" Lebrero, Editorial Octavio y Felez S.A.
Juarez Badillo, E.; Rico Rodríguez A. (2005) "Mecánica de los suelos", Editorial Limusa, México D.F., Tomo I, 642 páginas.
Siviero, N. R. (2009) "Rocas basálticas alteradas para uso vial en la Provincia de Misiones", Tesis Doctorado en Ingeniería mención en Vial y Transporte, Universidad Nacional de Rosario, 128 páginas.

USO DE VEHÍCULOS DE ALTA CAPACIDAD DE CARGA EN ARGENTINA PARA MEJORAR LA COMPETITIVIDAD DE LOS PRODUCTOS FORESTALES

THE USE OF HIGH CAPACITY VEHICLES IN ARGENTINA FOR IMPROVING FORESTRY PRODUCTS' COMPETITIVENESS

Efrón, A.^I; Pozzi, F.^{II}; Maestropaolo, J.^{III}

^IPhD en Transportes y Logística, Master en Logística e Ingeniería Industrial. Socia, BrAleConsulting. Av. Belgrano 1185 5to "G". C.A.B.A., Argentina. alejandra@braleconsulting.com

^{II}Ingeniero Forestal. Jefe de Carga, Transporte y Caminos. Alto Paraná S.A. Puerto Esperanza, Ruta Nacional 12 Km 1595, Misiones, Argentina. fpozzi@altoparana.com

^{III}Subgerente Producción Forestal, Alto Paraná S.A. Centro Forestal Predio Y Pora. Ruta Nacional 12 Km 1595, Misiones, Argentina. jmaestropaolo@altoparana.com

Resumen

El transporte de carga por carretera es el medio más utilizado para el movimiento de cargas forestales debido a su versatilidad y flexibilidad para transitar entre orígenes y destinos cambiantes. Dado que la producción forestal se caracteriza por su gran volumen y escaso valor unitario, el peso relativo de los costos de transporte son definitorios para la rentabilidad de la actividad. El objetivo de este trabajo es atraer la atención de los distintos participantes de la industria forestal sobre los beneficios potenciales de la utilización de vehículos de alta capacidad de carga, como por ejemplo los denominados Bitrenes, ya utilizados en Brasil y Uruguay, que podrían incrementar la competitividad de los productos forestales argentinos al reducir sus costos logísticos, sin arriesgar el compromiso corporativo de las empresas con la comunidad en materia de seguridad y el medio ambiente.

Palabras clave: transporte, forestal, seguridad, productividad, bitren

Summary

Road is the most common transport mode in the forestry industry due to its versatility and flexibility in traveling between variable origins and destinations. As forestry production is characterised by its high volume and weight but low unit value, transport costs are key for the profitability of the sector. The aim of this paper is to bring to the attention of those stakeholders involved in the forestry industry in Argentina the potential benefits of using high capacity vehicles, such as the so called B-doubles, already used in Brazil and Uruguay. These vehicles can increase the competitiveness of Argentine forestry products by reducing logistical costs without jeopardizing the organizations' corporate commitment to community safety and the environment.

Key words: transport, forestry, safety, productivity, B-double

Introducción

El transporte de carga por carretera es el medio más utilizado para el movimiento de cargas forestales. La importancia del camión como medio de transporte se debe no sólo al volumen de carga transportado, sino a la versatilidad y flexibilidad para transitar entre orígenes y destinos cambiantes (Machado et al. 2009; Dowling 2010). Por ejemplo, entre 1997 y 2008, el 94% de los productos forestales transportados a fábricas de procesamiento en

los Estados Unidos de América fueron transportados por camión (Dowling 2010). Factores como la localización de las plantaciones (distancias); accesibilidad (infraestructura vial); selección de modos (carretero, ferroviario o fluvial) y del equipamiento especializado; así como las formas de carga, y descarga, juegan roles claves en el conjunto de la economía del sector.

En el área forestal, el transporte entre origen y destino usualmente representa entre un 40-60% del costo total logístico. A pesar del alto porcentaje, el transportista tiene ganancias modestas, debido a los bajos márgenes, alto costo de combustible, alto costo de mantenimiento del vehículo debido a las exigentes condiciones del camino, y a la cantidad de viajes que puede realizar por día o mes, en parte por los tiempos el vehículo se mantiene inmóvil durante la carga y descarga (ANU Forestry 1999; Dowling 2010).

En Misiones específicamente, el parque automotor para la industria está sobresaturado, con una demanda que excede a la oferta de transporte. Ello significa que o esa demanda no es transportada, generando costos de almacenamiento, o que se transporta en unidades que por su antigüedad y mantenimiento no deberían siquiera circular, pues comprometen la seguridad de la comunidad en la ruta, además de la seguridad del propio chofer del camión, o bien se transporta en vehículos de menor tamaño generando mayores costos para igual volumen.

Sin entrar en la discusión del impacto que las políticas económicas tienen sobre el precio del producto final entregado, digamos que la norma en una economía de mercado es que este precio es determinado por el mercado mismo, y no por los productores. De una manera simplificada, el costo del transporte y de los tiempos de carga-descarga del vehículo se restan al precio, y lo que queda es la ganancia al productor (ANU Forestry 1999). Y no es cuestión de reducirle constantemente la tarifa al transportista, sino de buscar nuevas formas de transporte, nuevos vehículos, para que ganen tanto el transportista como el dador de carga.

La utilización de vehículos de alta capacidad de carga (en inglés highcapacityvehicles o HCVs) está incrementando su atractivo para la región del Mercosur-Chile como una manera de dar cuenta al aumento en la producción y el intercambio entre los países que dicha región ha experimentado en los últimos años. Uno de estos HCVs es el denominado B-doble o Bitren, donde la "B" indica el tipo de enganche entre remolques, conocido en la jerga del transporte como quinta rueda. El Bitren es un vehículo modular consistente en un tractor primario y dos semirremolques. Su largo varía según el país, entre 19 y 30 metros de largo, con peso entre 53 y 75 toneladas brutas, y hasta 8,5 toneladas por eje. El Bitren es un vehículo altamente utilizado desde hace más de dos décadas en países como Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Canadá, Sudáfrica y diversos países europeos como Suecia y Holanda. En Australia su uso ha sido tan beneficioso en términos de seguridad y productividad, que se están por aprobar nacionalmente el tránsito de B-triples. En el Mercosur sólo Brasil, Uruguay y la provincia de San Luis en Argentina han autorizado su uso, aunque Chile y otras provincias argentinas estudian las posibilidades de implementarlos.

El objetivo de este trabajo es introducir el tema en la actividad forestal argentina para su discusión. El uso de estos vehículos modulares (pueden ser utilizados como un remolque o dos para adaptarse a la red aprobada) podría mejorar la seguridad de las rutas argentinas, tanto para la comunidad que las transita como para el chofer que los conduce, cortar emisiones de gases tipo invernadero al utilizar menos combustible y proveer a las empresas con un tipo de transporte más productivo, ayudándolas a ser más competitivas.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. Primero se presentará al vehículo y a los diversos tipos de enganche/acople; luego, se pondrá a discusión el material investigado dividido según dos de los varios beneficios comprobados del vehículo: mayor seguridad y mayor productividad. Se eligen estos dos por ser los dos temas que más importan al sector en particular. A continuación se discutirán los resultados de la investigación y su potencial uso en Argentina, y finalmente se ofrecen conclusiones para su discusión.

Material y métodos

El siguiente es un trabajo de investigación comparativa. El material se refiere a investigaciones e informes realizados en los países por donde transitan los HCVs. Existen variados tipos de HCVs en el mundo, entre ellos el llamado Bitren. Como explicado en la introducción, este vehículo es un camión tractor con dos semirremolques acoplados mediante enganche de tipo “B” como el que se muestra¹ en la Figura 1, del tipo “quinta rueda y perno”.

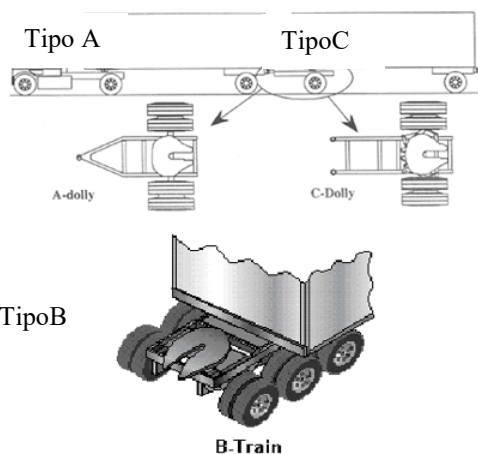


Figura 1: Tipos de acople
Figure 1: Coupling types

Es éste tipo de articulación que influye fuertemente en la estabilidad y control del vehículo. Tanto las conexiones C-dolly y B-tren eliminan un punto de articulación, lo que incrementa la estabilidad y control del vehículo (Federal Highway Administration 2000; Pearson 2009).

El Bitren y la seguridad

El debate sobre a la seguridad de los camiones pesados es considerable pues es un tema dinámico, particularmente respecto de cambios en pesos y dimensiones de los mismos, y si estos cambios alterarían positiva o negativamente la seguridad en las rutas. La seguridad en el transporte carretero es una combinación de varios factores:

distancias recorridas, desempeño del vehículo, desempeño y habilidad del chofer, controles para que se cumplan las leyes, condiciones de las rutas, mantenimiento de los vehículos, entre otros. Si se entiende a la seguridad como la tendencia de un camión a evitar accidentes, fatales o no, frente a las diferentes maniobras a las que pudiera ser sometido durante su manejo, se torna difícil aislar el impacto que tiene el peso y las dimensiones del vehículo. Por ello, los estudios e informes son generalmente resultados de pruebas y comparaciones entre los distintos vehículos.

Por ejemplo, en lo que respecta al desempeño físico del vehículo, se pueden destacar tres indicadores específicos, los cuales estadísticamente han demostrado una correlación con la seguridad o ausencia de ella. El primero, conocido como el “umbral estático de vuelco” (en inglés, Static Roll Threshold o SRT), se refiere a la aceleración normal límite que una unidad puede soportar al tomar un camino con radio de curvatura no infinito, tomando en consideración únicamente factores estáticos. Es función del peso de la unidad (cargada), la geometría de la misma y las características de la carga. Se mide como una porción de la aceleración gravitacional (g). Se considera segura una unidad con valores mayores a 0.38g.

El segundo índice se denomina Amplificación Trasera (en inglés Rearward amplification o RA), y se refiere al fenómeno que se presenta cuando una unidad tiene más de un punto de articulación y la misma esquivada, de manera relativamente brusca, un obstáculo. Se ha detectado un fenómeno que consiste en que el último semirremolque experimenta las mismas aceleraciones que la unidad tractora al seguir su curso, pero considerablemente amplificadas. Este efecto le confiere a la formación inestabilidad para su manejo y, en un caso extremo, puede provocar el despiste o vuelco de la misma. El RA es un indicador adimensional y se considera un valor de RA menor a 2 como seguro para el manejo estable.




¹Fuente: (Federal Highway Administration 2000)

El tercer índice se denomina Radio transferencia de carga dinámica (en inglés, Dynamic Load Transfer Ratio o DLTR). Mide la tendencia que tiene un camión a solicitar más un lado de un eje que el otro frente a un cambio en el curso de la unidad, y se mide como el porcentaje extra de carga que recibe un eje en detrimento del otro. En este sentido, una transferencia de carga nula daría un índice de 0.5 (50% de la carga en cada lado del eje), mientras que un valor de 1 implicaría que la totalidad de la solicitud reposa sobre uno solo de los lados del eje (100% de un lado y 0% del otro). Valores de DLTR menores a 0.6 son considerados seguros.

En todos los estudios y pruebas la combinación denominada Bitren fue la que mejor comportamiento tuvo. Por ejemplo, la Administración Federal de Carreteras del Ministerio de Transporte de los Estados Unidos, realizó un estudio comparando 18 vehículos articulados de carga pesados, con diferentes dimensiones, pesos máximos y características en su combinación. El Bitren superó a los otros 17 vehículos. La Tabla 1 muestra una comparativa a partir de ese estudio, pero con sólo los siguientes tres vehículos.

Tabla 1: Comparación de los índices de seguridad para 3 tipos de vehículos

Table 1: Safety index comparison for 3 types of vehicles

	Peso bruto <i>tons</i>	Largo trailer <i>m</i>	Tipo Artic	Cómo se ve	SRT <i>vs</i> $\geq 0.38g$	RA <i>vs</i> ≤ 2	DLTR <i>vs</i> ≤ 0.6
Tractor y semi	40	14.6	A		0.36	1.244	0.544
STAA doble	40	15.4	A		0.37	2.15	0.919
Bitren	58.5	19.2	B		0.406	1.13	0.271

En Australia, el Centro Nacional para la Investigación de Accidentes de Camiones realiza desde 1998 evaluaciones cuantitativas que las transforma en un informe bianual. El último informe concluye, de manera similar a los previos, que el bitren es el vehículo de carga carretero con mayor seguridad, o mejor dicho, la “alternativa segura”. Transportando el 48% de las toneladas por kilómetro, los bitrenes estuvieron involucrados en sólo 28% de los accidentes, mientras que el camión con semirremolque, transportando 36% de la carga por kilómetro, representa el 60% de los accidentes (Driscoll 2009; Driscoll 2011). El tema de seguridad es tan importante para todos los participantes (transportistas, industria, gobierno y comunidad) que en Nueva Zelanda, donde la actividad forestal es la mayor industria, existe un Concejo para la Seguridad del Transporte Forestal, donde colaboran transportistas, investigadores, legisladores, agencias de control, fabricantes de acoplados y empresas forestales. Se los reconoce como líder en mejores prácticas de transporte forestal. Es importante destacar que todos los estudios e informes consultados indican que la fatiga del chofer es el factor más preponderante en los accidentes de camiones (Federal Highway Administration 2000; Knipling & Bocanegra 2008; Dowling 2010; Driscoll 2011).

Productividad del bitren

En Argentina la Ley de Transporte Nacional permite hasta un peso máximo de 45 toneladas de peso bruto. La carga neta depende no sólo de lo que la ley permite, mas también del tipo de tractor utilizado, y de la tara del del vehículo utilizado. Según el Ing. Bob Pearson, quien investigó directamente en Australia a pedido de los autores, el aumento en la carga neta transportada por un Bitren en la industria forestal es actualmente de un 50% respecto de lo que carga un camión con semiremolque. Este resultado es importante e impactante, pues en 1990, cuando se hicieron las primeras pruebas con el Bitren a pedido de la Compañía de Papel

Australiana, APM, se esperaba un aumento en la carga transportada de un 20%, y aún así valía la pena (Pearson 2009).

Un estudio que se refiere al costo de operar un Bitren forestal (Freitas et al. 2004), concluye que los costos del vehículo en sí varían entre un 86 y 89% del costo operativo total, incluyendo costo fijo y variable de la máquina. Dentro de los costos variables del vehículo, los costos de combustible y de mantenimiento y arreglos son los más expresivos, especialmente en lo que se refiere a neumáticos. Según las investigaciones del Ing. Pearson, en la industria forestal australiana el consumo de combustible por el uso de un Bitren de 26 metros aumenta entre un 15 y 20%, los costos de aumentan un mantenimiento un 40%, dependiendo del terreno, y el salario del chofer de Bitrenes es entre un 10 a 20% superior que el de un camión con semiremolque simple. Las taras de los vehículos varían de la siguiente manera: un camión con semiremolque simple, entre 13 y 15 toneladas; B-doble de 19 metros de largo plegable, entre 17.5 y 19.5 toneladas; y un B-doble TriTri plegable (tres ejes en el medio y tres ejes atrás), entre 20 y 22.5 toneladas.

La Imágen1 a la derecha muestra la foto de uno de los modelos de Bitrenes plegables diseñados en 1990 por Elphistone para el transporte forestal en Australia². Al plegarse el vehículo es más sencillo de manejar cuando está vacío, contribuyendo a la seguridad del chofer, y tiene menor desgaste en los neumáticos. La imagen 2 muestra un camión con un remolque forestal australiano de triple eje cargando troncos³. Por debajo de los troncos se encuentra una 5ta rueda para enganchar un segundo remolque, y así convertirse en Bitren. Australia permite hasta 26 metros de largo máximo para Bitrenes, y 74 toneladas.



Imágen 1: Bitren forestal australiano, 1990

Imágen 1: Australian forestry B-double, 1990

Actualmente con la iniciativa de UPM Forestal Oriental, el bitren ha sido aprobado en Uruguay por decreto para el corredor Alcorta de la ruta 25 luego de tres meses de prueba (Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Uruguay 2011). El vehículo tiene 19.2 metros de largo, y puede cargar 38 toneladas de carga útil (Guía Forestal 2012), es decir, 8 toneladas más que las permitidas hasta dicho decreto, equivalente a un 26.6% de aumento en la carga útil transportada. En Brasil, donde la longitud de los Bitrenes varían entre 25 a 30 metros, 8 a 9 ejes, y un peso total de hasta 74 toneladas (unas 57 toneladas de carga útil). Canadá, uno de los países que utiliza bitrenes desde los años '70, permite largo máximo de 25 metros, y peso bruto máximo de 63,5 toneladas. En Sudáfrica los Bitrenes se denominan "interlinks" y funcionan desde 1990 con un largo de 22 metros y 56 toneladas de peso máximo sobre 8 ejes, es decir, similar al vehículo aprobado en Uruguay en 2011. Debido a su estabilidad y versatilidad, además de mayor carga útil, son usados especialmente dentro de Sudáfrica o para transportar a países adyacentes donde la red de caminos no están bien desarrollados.



.Imágen 2: Camión forestal actual
Image 2: Current forestry truck

²Cortesía del Ing. Bob Pearson.

³Fuente: www.nti.com.au



Imágen3: Fotos de Bitren forestal brasileiro diseñado y fabricado por Randon
Image3: Pictures of Brazilian forestry B-doubles designed & manufactured by Randon

Resultados y Discusión

El B-doble, gracias al tipo de enganche B, ha demostrado ser tan exitoso en materia de seguridad, productividad y reducción de emisiones que en Australia la Comisión Nacional del Transporte está promoviendo a partir del 2012 el uso del B-triple. Según los estudios, se estima que si B-triples modulares operasen nacionalmente en la red de caminos donde operan los A-dobles, hacia 2030 Australia podría haber prevenido 25 muertes por accidente al año, 1.1 millones de toneladas de emisiones de CO₂ y generado aproximadamente 1.1 billones de dólares en ahorros, a Valor Presente Neto (Di Cristoforo & Bereni 2011).

Hay variedades de vehículos de alta capacidad de carga. En su afán de maximizar carga, reducir costos, y mantener o incrementar seguridad que el vehículo le provee tanto al chofer que maneja como a la comunidad por donde transita, fabricantes e industrias continúan investigando nuevos diseños como manera de mantenerse competitivos. Diversos estudios en Estados Unidos, Brasil y Australia indican que los transportistas podrían ganar si adecuaran sus vehículos para poderles agregar un semirremolque más, y las empresas y productos forestales ser más competitivos. Las pruebas realizadas en 2011 durante tres meses en Uruguay con un Bitren que carga hasta 38 toneladas netas, dio como resultados una mayor rentabilidad en el flete y paralelamente un mejor desempeño del camión en el desgaste de las rutas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Uruguay 2011). Los Bitrenes surgen como una alternativa válida por varios aspectos:

- Han demostrado ser tanto o más seguros que los camiones convencionales (Federal Highway Administration 2000; Pearson 2009; Driscoll 2009; Driscoll 2011).
- Han sido probados extensamente a lo largo del mundo, y cada vez con más éxito (Driscoll 2011; Di Cristoforo & Bereni 2011).
- Representan la alternativa de inversión más económica por tonelada bruta extra de capacidad aportada (Freitas et al. 2004; Pearson 2009).
- Destruyen menos el asfalto que un camión convencional (Keim & Giagante 2011)
- Tienen un menor impacto ambiental y en el tránsito que los camiones convencionales (Department of transport & regional services 2006; Pearson 2009).
- Proveen de mayor competitividad a los productores usuarios de los mismos por bajar la incidencia del flete en la estructura de costos, generándose en definitiva una ventaja para el país (Machado et al. 2009; Di Cristoforo & Bereni 2011).
- Ofrecen mayor seguridad para el conductor de estas unidades, debido al mejor desempeño dinámico de la unidad, que minimiza el riesgo al que se expone ante un movimiento de la carga (Federal Highway Administration 2000; Knipling & Bocanegra 2008; Pearson 2009; Di Cristoforo & Bereni 2011; Driscoll 2011)

En Argentina, el máximo de carga útil posible es de aproximadamente 30 toneladas por vehículo. Dependiendo del peso y dimensiones autorizados, la actividad forestal argentina podría obtener entre un 20% (como en Uruguay) y un 50% de productividad (Brasil,

Australia). Expertos como el Ing. Bob Pearson sugieren que no sólo se investiguen nuevos vehículos per se, sino también maneras astutas de adaptar aquellos vehículos actuales, de manera que ganen todos los partícipes del sector, tanto el transportista, el chofer, la empresa forestal, y la comunidad en la que se encuentran trabajando.

Conclusión

La región Mercosur-Chile ha crecido en los últimos años, y la disparidad entre las dinámicas de crecimiento de la oferta, y la demanda de infraestructura y servicios de transporte exige prontas acciones nacionales y regionales para evitar que esta insuficiencia se convierta en un obstáculo para el desarrollo (CEPAL 2010). Se concluye que estos vehículos representan una oportunidad para impactar positivamente sobre la industria del transporte carretero en particular, y la industria argentina en general. Se sugiere entonces que se solicite a las autoridades correspondientes la autorización para realizar pruebas concretas, por un tiempo predeterminado, de manera similar a Uruguay y Australia, para determinar cuál es el vehículo que mejor se adapta a la actividad, así como también a la comunidad. La aprobación del uso de los HCVs tipo Bitren permitiría que la actividad forestal argentina realice un salto en productividad y seguridad.

Agradecimientos:

Agradecemos al Ing. Bob Pearson, llamado en Australia cariñosamente “padre del Bitren”, por su colaboración con material para este trabajo. Bob personalmente entrevistó a las empresas forestales para consultarles sobre sus costos operativos.

Bibliografía

- ANU Forestry, 1999. Cost of log transport, Australian National University Forestry Program. Canberra, Australia. Disponible en: <http://fennerschool-associated.anu.edu.au/marketreport/report07.pdf> [Acceso Marzo 9, 2012].
- CEPAL, 2010. El desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: tendencias, avances y desafíos en materia de consumo y producción sostenibles, minería, transporte, productos químicos y gestión de residuos, Naciones Unidas Santiago de Chile. Disponible en: <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/9/39109/P39109.xml&xsl=/dmaah/tpl/p9f.xsl&base=/dmaah/tpl/top-bottom.xsl> [Acceso Marzo 10, 2012].
- Di Cristoforo, R. & Bereni, M., 2011. A national framework for modular B-triple operations. National Transport Commission, Australia. Pg. 68. Disponible en: <http://www.ntc.gov.au/filemedia/Reports/BtriplesdiscussionpaperAug11.pdf> [Acceso Marzo 20, 2012].
- Department of Transport & Regional Services, 2006. Fuel tax credit for heavy diesel vehicles. Gobierno Federal Australiano. Pg. 18. Disponible en: http://www.infrastructure.gov.au/roads/environment/fuel_tax_credit/pdf/Fuel_Tax_Credit-Environmental_Guidelines.pdf [Acceso Marzo 20, 2012].
- Dowling, T.N., 2010. An Analysis of Log Truck Turn Times at Harvest Sites and Mill Facilities. Masters in Forestry Science. United States: Virginia Polytechnic Institute. Pg. 82. Disponible en: http://scholar.lib.vt.edu/theses/Available/etd-05032010-114017/unrestricted/Dowling_TN_T_2010.pdf [Acceso Marzo 20, 2012].
- Driscoll, O.P., 2009. Major Accident Investigation Report 2009. National Centre for Truck Accident Research. Australia. Disponible en: <http://www.nti.com.au/Portals/0/Major%20Accident%20Investigation%20Report%202009.pdf> [Acceso Marzo 20, 2012].
- Driscoll, O.P., 2011. Major Accident Investigation Report 2011. National Centre for Truck Accident Research. Australia. Disponible en: <http://www.nti.com.au/LinkClick.aspx?fileticket=rIMC1S5G4eA%3D&tabid=93> [Acceso Marzo 20, 2012].
- Federal Highway Administration, 2000. Western Uniformity Scenario Analysis. Capítulo 7. Gobierno Federal Estados Unidos. Disponible en: <http://www.fhwa.dot.gov/policy/otps/truck/wusr/chap07.htm> [Acceso Marzo 8, 2012].
- Freitas, L.C. de et al., 2004. Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitren. Revista Árvore, v.28, n.6, p.855-863. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000600010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt [Acceso Marzo 20, 2012].
- Guía Forestal, 2012. Un camión bitren para 38.000 toneladas en las rutas uruguayas. Guía Forestal - El Portal Forestal del Uruguay. Disponible en: <http://www.guiaforestal.com/noticias/12mar-un-camion-bi-tren-para-38000-toneladas-en-las-rutas-uruguayas.htm> [Acceso Marzo 27, 2012].
- Keim, A. & Gigante, H.L., 2011. Bitrenes y transporte Argentino. XXVI Concurso sobre temas viales. Argentina: Ministerio de Infraestructura, la Provincia Buenos Aires. Pg. 51

- Knipling, R. & Bocanegra, J., 2008. Comparison of combination-unit truck and single-unit truck statistics from the LTCCS, FMCSA Webinar. Departamento de Transporte de los Estados Unidos. Pg. 36. Disponible en: <http://www.fmcsa.dot.gov/facts-research/media/webinar-08-12-15-slides.pdf> [Acceso Marzo 10, 2012].
- Machado, C.C. et al., 2009. Avaliação do desempenho logístico do transporte rodoviário de madeira de áreas de fomento florestal com o uso de rede de Petri. Revista Árvore, v.33, n.6, p.1159-1167. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622009000600018&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt [Acceso Marzo 20, 2012].
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Uruguay, 2011. Requisitos para la circulación de vehículos de tipo bitren en el corredor Alcorta, Disponible en: http://archivo.presidencia.gub.uy/sci/decretos/2011/10/mtop_275.pdf [Acceso Marzo 20, 2012].
- Pearson, B., 2009. B-Doubles. The first decade in Australia 1ra.ed., Prime Creative Media Limited. Victoria, Australia. Pg.102

ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS O TÉCNICA DE COSECHA QUE SE EFECTÚAN EN LA RESERVA DE BIOSFERA YABOTÍ, MISIONES

ANALYSIS OF THE DIFFERENT METHODS OR TECHNIQUE THAT ARE MADE IN HARVEST BIOSPHERE RESERVE YABOTÍ, MISIONES

Fornaso Davico, M.G¹; Mac Donagh, P².

¹ Ing. Forestal. Congreso 51, Dto. 12, Eldorado Misiones, CP 3380, Argentina. mail: guadafd@gmail.com.

² Ing. Forestal (M.Sc.), Prof. Adj. De la Cátedra de Explotación Forestal, Facultad de Cs. Forestales - UNaM. Bertoni 124, Km 3, Eldorado, CP 3380, Argentina. mail: patricio.macdonagh@gmail.com

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la intensidad de cosecha en la Reserva Biosfera de Yaboty (RBY), Misiones, Argentina. Se analiza la incidencia de cada uno de los modelos de aprovechamientos: Corta Permisible Anual (CPA), Plan Pluri Anual (PPA) y la técnica de aprovechamiento Cosecha de Impacto Reducido (CIR). Este análisis se realiza en lo que respecta a los volúmenes extraídos, los ingresos obtenidos y el tamaño de las propiedades. Este estudio se realizó en 160.858 hectáreas, en el lapso de agosto del 2006 a junio del 2010 inclusive. Con respecto, a los métodos o técnica de aprovechamiento se realizaron análisis de varianza (ANOVA) con el volumen cosechado y el ingreso obtenido, en ambos casos se observaron diferencias significativas entre las variables. Se realizaron análisis de regresión, los que expresan, que las superficies destinadas a la cosecha poseen una estrecha relación con respecto al volumen extraído y el ingreso.

Palabras clave: Modelos de aprovechamientos, tamaño de la propiedad, volumen cosechado, ingresos.

Summary

This paper aims to analyze harvesting methods at Yaboty Biosphere Reserve (YBR), Misiones, Argentina. The methods were the Annual Allowable Cut (CPA), the Multiple Annual Plan (PPA) and harvesting technique Reduced Impact Logging (RIL). It were analyzed through harvested volume, the earned income and size of the owner. This study was conducted in 160.858 hectares in the period August 2006 to June 2010 inclusive. Through the tool that gives us the statistical regression analysis, and thus viewed, the harvesting areas has a close relationship with the harvested volume and income. With regard to the methods or techniques of harvesting an analysis of variance (ANOVA), which showed that significant differences exist between the variables. The same was done with the variable income.

Keywords: Models of uses, property size, volume harvested, income.

Introducción

A nivel mundial existe una conciencia crítica sobre la necesidad de conservar los ecosistemas forestales tropicales y subtropicales. Sin embargo, la superficie de estos bosques viene descendiendo en forma continua en los últimos años. Uno de los ecosistemas más importantes a este nivel es el Bosque Atlántico, donde se encuentra la Reserva de Biosfera Yabotí (RBY). En este marco, una de las estrategias de manejo a nivel mundial es la

implementación de las Reservas de Biosfera donde coexisten áreas de conservación estricta y áreas de manejo.

Venegas y Louman(2001) concluyeron que la sobre-explotación de los montes debido a la gran demanda de maderas nativas produjo la degradación de los bosques o bien la eliminación total. Otra de las causas que provoca la degradación de los mismos es el avance de la frontera agrícola.Siendo esta última la de mayor relevancia en Argentina.Actualmente, en las regiones tradicionales se practica un método de explotación que se conoce como aprovechamiento convencional. Por lo general estos sistemas de aprovechamiento forestal no poseen una planificación previa, ni una ejecución ordenada de las operaciones, los costos de producción son altos, hay una baja utilización del bosque y una gran cantidad de desperdicios o residuos (MacDonaghet *al*, 2007).

Teniendo en cuenta esta advertencia, la técnica conocida como cosecha de impacto reducido (CIR) puede generar beneficios competitivos o superiores con respecto a la cosecha convencional (CL).Sobre todo si los costos de la madera desperdiciada o dañada en la operación de cosecha son tenidos plenamente en cuenta (Bolzet *al*, 2003).

Con respecto, al manejo sustentable de los bosques se viene hablando desde hace años a nivel mundial. Sin embargo, en Argentina a pesar de ser un concepto conocido académicamente no existía ningún respaldo por parte de la legislación nacional. En el año 2008, se sancionó la ley 26.331 con el nombre Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos y a partir de este momento se enfatizó la preocupación en el uso sostenible de los bosques nativos en nuestro país.

El manejo en la RBY comprende la aprobación de un plan de manejo de la propiedad bajo las normas establecidas. El 20 de enero de 1994 por medio de la Resolución 20/94 se crea el Manual de instrucciones Técnicas para la formulación de planes de manejo para los montes nativos e implantados existentes en la Reserva de Biosfera Yaboty. El 23 de abril del 2004 se deroga la Resolución 20/94 y se aprueba, con el mismo nombre pero con otros contenidos, el Manual de Instrucciones Técnicas bajo la Resolución 226/04, en el cual se establece nuevas pautas para la creación de dicho plan de manejo incluyendo, además, otras normas tanto nacionales como provinciales. Dentro de las mismas se encuentran, ley Nacional 26.331, Ley Provincial 854/77, Decreto Reglamentario 1459/77, entre otras.

Desde 2004 hacia la fecha el sistema de manejo es el del Diámetro Mínimo de Corta (DMC)(Resol. 1617/86) para toda la provincia incluida la RBY. Anteriormente, se trabajaba bajo el sistema de serie mínima.

El objetivo de este trabajo es analizar la incidencia de los diferentes tipos de manejo y las superficies destinadas a la cosecha de la RBY, en el lapso de agosto del 2006 a junio del 2010 inclusive; tanto en lo que respecta al volumen extraído, el ingreso obtenido, las especies cosechadas y tamaño de las propiedades.Este último esta categorizado según la cantidad de hectáreas destinadas a la actividad de cosecha durante el periodo mencionado.

Materiales

La Reserva de Biosfera Yaboty (RBY) se encuentra en el centro-este de la Provincia de Misiones, departamentos de San Pedro y Guaraní. La vegetación corresponde a la región biogeográfica de la Selva Atlántica Interior (SAI), denominada en Argentina Selva Paranaense o Misionera (MEyRNR, 2009).

Contemplada como una de las categorías de Áreas Naturales Protegidas por Ley Provincial N° 2.932 del año 1992. La Reserva de Biosfera Yaboty fue creada en el año 1993 por Ley Provincial N° 3041 y su decreto reglamentario 2492/93; está constituida por una superficie de 236.313 has, para cumplir con funciones específicas que permitan establecer una

correcta armonización entre los recursos naturales y las actividades del hombre (MEyRNR, 2009).

Está conformada por tres zonas; Zona Núcleo, Zona de Amortiguación o Buffery Zona de Transición.

Para la realización de este trabajo solo se tuvo cuenta la zona de transición. La misma está conformada por 118 lotes (170.775 has.) pertenecientes a 28 propietarios privados, de los cuales aproximadamente en el 85 % de los lotes se realizan actividades forestales, aprovechamiento y manejo del monte nativo bajo metodologías de aprovechamiento, aprobadas y monitoreadas por el MEyRNR (MEyRNR, 2009).

Para este estudio solo se trabajó con los propietarios privados que tuvieron intervenciones de cosecha durante el periodo analizado, por lo tanto, se utilizaron los datos de 27 propietarios.

Métodos

En el área de estudio, la cual pertenece al sector privado, existen dos modelos de corta; Corta Permisible Anual (CPA) (Disposición N° 06, julio 2007) y Plan Pluri Anual (PPA) y una técnica de planificación Cosecha de Impacto Reducido (IR), cada propietario puede seleccionar según el criterio o conveniencia. A continuación se detallan y analizan los modelos y la técnica de aprovechamientos;

1) Corta Permisible Anual (CPA)

Es un valor promedio, para bosques con mediana intensidad de cosecha de una corta anual permisible de 0.38m³/ha/año. Por arribar a estos valores se usaron datos de crecimiento, daños producidos por la explotación y datos de inventario que proporcionan una idea de las especies comerciales e individuos con diámetro superior al diámetro mínimo permitido de corta. (MERNRyT, 2009).

2) Plan Plurianual (PPA)

Son ciclos de rotaciones mayores o iguales a 15 (quince) años, el volumen a extraer por rodal estará en función del volumen (m³/ha), que haya arrojado el inventario. Dicho inventario tendrá un tiempo de validez de 10 (diez) años, desde su fecha de inspección. Por otro lado, se deberá planificar, el ciclo de rotación y las agrupaciones de los rodales en función de diferentes factores como ser, rodales inaccesibles y accesibles tanto en época de sequía como de lluvia (MERNRyT, 2009).

3) Cosecha de Impacto Reducido (CIR)

Según Mac Donagh et al (2004) consiste en una planificación detallada de las actividades de pre-cosecha, para eso se realiza un censo de todos los árboles comerciales mayores a 30 cm DAP, y con esta información se confeccionan mapas detallados en los cuales se especifican ubicaciones de planchadas, árboles a extraer, árboles de futura cosechas, vía de sacas y caminos principales. Este no es un método de manejo, sino una técnica de planificación, para mejorar la renta y a su vez cuidar mejor el bosque remanente (MERNRyT, 2009).

Por otro lado, al realizar aprovechamientos de madera en la RBY, hay leyes establecidas para la protección que deben ser cumplidas. Cabe aclarar que en el periodo del 1995 hasta el 2004, se utilizó el criterio de Serie Mínima en dicha área. A partir del 2004 al día de la fecha, por resolución/decreto 1617/86delMEyRNR, se implementa el criterio del DMC.

Para la realización de este trabajo se accedió a información brindada por el Área de Manejo Integral de la Reserva de Biosfera Yaboty (AMIRBY). La misma depende del Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables (MEyRNR). Los datos fueron obtenidos de una planilla de Excel, la misma se confecciona con la carpeta del plan de manejo y el plan de corta aprobado por el Ministerio de Ecología.

Por otro lado, se accedió a los precios de productos forestales que fueron obtenidos del Colegio de Ingenieros Forestales de Misiones (COIFORM), para el mismo período, discriminados por especies y zona. Con respecto a la zona, se utilizaron los precios de rollos para la zona de la ruta Prov. 21 que pertenece a la RBY. Estos valores están expresados en metro cúbico Alto Paraná (m^3AP) lo que equivale a $10'' \times 10'' \times 1m$. Por lo tanto, como primer paso se realizó la conversión de m^3AP a m^3 internacional (SI). Para ésta conversión se utilizó el valor de conversión $10,5 m^3AP$ equivalente a $1m^3$ internacional (SI), valor utilizado por las industrias del aserrado de maderas nativas de la provincia de misiones. Luego se procedió a calcular el ingreso a partir de los volúmenes cosechados por especie y el precio de cada una. Con este dato se obtuvo el ingreso total de la reserva, un promedio del ingreso por hectárea.

Dentro de la información brindada por el Ministerio para la realización de este trabajo, se encuentran las especies que fueron cosechadas por cada propietario. Se trabajó con un total de 24 especies. Con estos valores se obtuvo el volumen y por ende el ingreso por especie, los cuales se ordenaron de forma descendente para ambas variable.

Para la realización de este trabajo se procedió a la creación de una base de datos, a partir de la información brindada por el AMIRBY. Dicha información se ordenó de tal manera que permita la realización de los análisis que se proponen en dicho trabajo. Al contar con una alta variabilidad de datos y al no contar con iguales cantidades de muestras en cada método, se procedió a ordenar la base de información creándose dos divisiones. La primera división se efectuó en relación a los métodos y la técnica de aprovechamiento que se utilizan en la reserva. Se generó una tabla detallando el método que eligió cada propietario. Fue necesario agrupar los datos de esta manera, para desarrollar los análisis estadísticos que se pretende emplear en este trabajo.

La segunda clasificación fue cuantitativa. Por medio de las herramientas que brinda la estadística descriptiva, se dividió a las superficies cosechadas en clases de acuerdo al rango calculado. De esta manera quedaron agrupados los propietarios en cuatro clases, asignándole un número de forma ascendente. Por esta razón, a aquellos propietarios que destinaron menores superficies para cosecha, se le asignó a esta clase el número 1 y así sucesivamente.

Por medio de ambas clasificaciones (agrupamiento) se realizaron análisis estadísticos, como ser análisis de varianza y regresiones lineales simples, a través de software estadísticos.

Por otro lado, utilizando la primera clasificación, por medio de la técnica estadística Análisis de Varianza (ANOVA); se realizó entre las variables métodos o técnica de aprovechamiento versus el volumen total extraído durante los cuatro períodos, para inferir si el volumen cosechado depende del método o técnica seleccionada por cada propietario.

Con la variable ingreso económico se estimó el ingreso total y un promedio de ingreso por hectárea, tanto en la moneda pesos argentinos como con la moneda dólar. Para este caso se utilizó el Análisis de Varianza, con el fin de deducir sí el ingreso económico (expresado en dólar estadounidense) se encuentra influenciado por los métodos o técnica de aprovechamiento seleccionado por cada propietario.

En base a la segunda clasificación, se la utilizó para analizar el volumen cosechado y la superficie por propietario, con estos valores se efectuó un análisis de regresión lineal simple y de esta forma se estudió el comportamiento del variable dependiente volumen (m^3), explicado por medio de la variable independiente superficie (ha).

Por otro lado, con la variable ingreso económico expresada en la divisa dólar estadounidense (US\$), se realizó el análisis de regresión tomando a la misma como variable dependiente en función a la variable independiente superficie (ha), y así poder observar si el ingreso que obtuvo cada propietario está influenciado por la superficie que posee cada uno. Con la variable riqueza, número de especies, en primer lugar se contabilizó la cantidad de especies extraídas por cada propietario, encontrándose un máximo de 24 especies. Con las variables volumen e ingresos económicos obtenidos por cada especie se realizaron dos cálculos; el primero tuvo en cuenta las diez primeras especies que se extrajeron en mayor cantidad de volumen y el segundo las diez primeras especies que se obtuvieron los mayores ingresos económicos. Así, de esta manera comparar si las diez primeras especies con mayor participación de volumen coinciden con las diez primeras que posee mayores ingresos.

Resultados

Como primera instancia se presentan los valores sobre el volumen extraído por los 27 propietarios, que fue de 270.968 m³, esto expresado en hectáreas es 1.68 m³/ha. Este mismo cálculo se realizó para ver el ingreso económico, que fue de US\$ 10.498.813, lo que equivale a 65.26 US\$/ha. La superficie afectada al manejo fue de 160.858 hectáreas.

Se realizó un análisis estadístico a través de la herramienta ANOVA entre los métodos o técnica de aprovechamiento y la cantidad de volumen cosechado por los propietarios para el periodo estudiado. A través de este análisis de varianza y tomando el criterio de 95 % de nivel de confianza, se observó que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas variables. Esto se demuestra por medio del nivel de probabilidad (valor p), el cual se ubica en la zona de rechazo de la curva, menor a 0,05. Por lo tanto, se puede expresar que la cantidad de volumen extraído por cada propietario puede llegar a ser influenciado por la selección del método escogido por cada uno.

Se efectuó un análisis estadístico entre los tipos de métodos o técnica de aprovechamiento y el ingreso económico (\$) total obtenido por parte de los propietarios para los periodos estudiados.

Al analizar estos resultados se observó que existen diferencias significativas con respecto a los ingresos económicos obtenidos por cada método o técnicas de cosecha. Dado que el nivel de probabilidad que arroja este análisis es menor a 0,05 por lo tal se ubica dentro de la zona de rechazo.

Por otro lado, se realizó un análisis de regresión lineal simple entre el volumen obtenido por propietario en relación a la superficie que cada uno destinó a la cosecha. Esta distribución demostró que a medida que aumenta el tamaño de la propiedad, el valor del volumen cosechado por cada propietario se incrementa.

Se efectuó este mismo análisis entre el ingreso (\$) y la superficie (ha), ambas variables poseen una relación bastante estrecha.

Con respecto a las especies que se aprovecharon en mayor cantidad de volumen, en el periodo estudiado, se obtuvo de un total de 24 especies, solo diez especies reúnen el 73 % del volumen total extraído.

El análisis antes mencionado se efectuó para ver la incidencia en base a los ingresos económicos.

En ambos análisis se observó que las diez primeras especies en volumen coinciden, en su mayoría, con las diez primeras en ingreso económico, aunque en distinto orden. Se observa que el cedro posee un 17,5 %, del ingreso económico total de las diez especies analizadas, y que a su vez es un 8 % superior que el incienso. La participación representada por estas diez especies es el 85 % del total de especies, o sea que las otras catorce especies tienen una participación del 15 %. Según el trabajo realizado por Mac Donaghet *al.* (2007), de un total

de diecinueve especies cortadas, las seis primeras reúnen el 87,5 % de la facturación. Al comparar los resultados, de ambos trabajos, gran parte de las especies que se presentan en el trabajo mencionado, coinciden en gran medida con las especies que se obtuvieron mayores ingresos. Esto no ocurre lo mismo para caso del análisis del volumen.

Conclusiones

Se ha logrado caracterizar la actividad de cosecha, el volumen cosechado y los ingresos económicos obtenidos en la RBY. Estas variables están muy relacionadas con la superficie que cada propietario destinó a la cosecha, y poseen poca relación con el método o técnica de aprovechamiento seleccionado.

Al analizar los datos, se observa que las superficies menores fueron sometidas al plan pluri anual, que los demás propietarios seleccionaron la corta permisible anual, y solo un propietario sometió un lote de 2.412,50 hectáreas a la práctica de cosecha de impacto reducido desde el periodo 2007-2008. A nivel estadístico no se reflejó que la cantidad de volumen total extraído en todo el periodo de estudio se encuentre influenciado por el método o técnica, si se demostró que esta variable cuantitativa está influenciada por la superficie. Una de la causa que provoca que el volumen a cosechar o el ingreso obtenido no sea definido por el tipo de Método o Técnica de aprovechamiento, es la decisión tomada por el operador de corta (motosierrista) en el momento de llevar a cabo la actividad de cosecha, ya que el mismo es el que determina cual árbol cortar.

Con el análisis de regresión se visualizó que a medida que aumenta el tamaño de la propiedad, aumenta el volumen cosechado.

Estos mismos resultados fueron para el ingreso, si bien se sabe que el ingreso depende del volumen, igual se insistió con este análisis para ver si se comportaba diferente por la influencia que pueden llegar a tener los método o la técnica al momento de la selección de especies.

Se observó una selección de especies en la decisión de la cosecha, obteniéndose un 73 % del volumen extraído reunido en solo diez especies de la veinticuatro seleccionadas. Esto mismo ocurre con la variable ingreso económico que de las veinticuatro especies cosechadas el 85 % del mismo se reúne en solo diez especies.

Agradecimientos

Se le agradece al docente orientador Ing Patricio Mac Donagh por la predisposición brindada para llevar a cabo dicho trabajo y a la Ing. Silvia Korth. También, al Área de Manejo Integral de la Reserva de Biosfera Yaboty (AMIRBY) por brindar la base de dato con la cual se pudo llevar adelante este trabajo. Les agradezco mis amigos y compañeros Natalia Bedrij, Silvina Berger, Gustavo Juárez y Santiago Velazco por la predisposición brindadas para la realización de este trabajo.

Bibliografía

- BOLETIN COLEGIO DE INGENIEROS FORESTALES DE MISIONES. 2006-2010 Precios. Eldorado, Argentina. Fecha de consulta 29/07/2010. [http://: www.coiform.com.ar](http://www.coiform.com.ar)
- BOLTZ F.; HOLMES T.; CARTER DOUGLAS R. 2003. Economic and environmental impacts of conventional and reduced-impact logging in Tropical South America: a comparative review. *Forest Policy and Economics* 5. Pág 69-81.
- MAC DONAGH P., GARIBALDI J. F., RIVERO L. E. 2001. Impacto de la explotación forestal sobre un bosque subtropical.
- MAC DONAGH P.; RIVERO L.; BULFE N.; TERESCZUCH M.; CUBBAGE F. 2007. Hacia el aprovechamiento sustentable de bosques subtropicales de la Selva Misionera, Argentina. *Revista Ciencias Florestais*, ISSN 0103-9954.
- MINISTERIO DE ECOLOGÍA, RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y TURISMO DE LA PROVINCIA DE MISIONES (2009). Hacia un diálogo de saberes. Encuentro entre colonias rurales, pueblos originarios y Reserva de Biosfera de Yaboty. Departamento San Pedro, pp 9 y 10.

VENEGAS G., LOUMAN B. (2001). Aprovechamiento con tratamiento silvicultural de impacto reducido en un bosque montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. CATIE Informe Técnico N° 325. 22pp.

INFLUÊNCIA DA IDADE E ESCOLARIDADE NA FORMAÇÃO DE OPERADORES COM USO DE SIMULADOR DE REALIDADE VIRTUAL

INFLUENCE OF AGE AND EDUCATION IN THE TRAINING OF OPERATORS USING VIRTUAL REALITY SIMULATOR

Lopes, E. S.¹; Vera, O. M.²; Pagnussat, M. B.³; Silva, P. C.⁴; Gonçalves, S. B.⁵

¹ Professor, Universidade Estadual Centro-Oeste (UNICENTRO), Irati, Paraná, Brasil; ^{2,5} Mestrando, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, UNICENTRO, Irati, Paraná, Brasil; ³ Estudante de Engenharia Florestal, UNICENTRO, Irati, Paraná, Brasil. ¹eslopes@irati.unicentro.br; ²oscarveracabral@gmail.com; ³millanaburguer@hotmail.com; ⁴paulocandido@irati.unicentro.br; ⁵sauloboldrining@hotmail.com.

Resumo

Este trabalho objetivou avaliar a influência da idade e nível de escolaridade na formação de operadores com uso do Simulador de Realidade Virtual Harvester (SRVH), possibilitando identificar o perfil ideal para a formação do operador, bem como permitir melhorias no processo de treinamento. O estudo foi desenvolvido no Centro de Formação de Operadores Florestais (CENFOR), da Universidade Estadual do Centro-Oeste, a partir de dados de 124 profissionais que receberam treinamento de formação no SRVH. Foram coletadas as médias das variáveis que caracterizam o desempenho dos operadores no início e ao final de dois módulos operacionais do simulador. Os resultados indicaram que, os operadores mais jovens e com maior grau de escolaridade assimilaram melhor as técnicas transmitidas e obtiveram um melhor desempenho nas variáveis operacionais estudadas, demonstrando que as variáveis idade e escolaridade são importantes na identificação do perfil ideal para a formação de um operador de máquina florestal.

Palavras chave: Simulador de Realidade Virtual, Harvester.

Summary

This study evaluated the influence of age and educational level in the training of operators using the Virtual Reality Harvester Simulator (VRHS), allowing to identify the ideal profile for operator training and lead to improvements in the training process. The study was conducted at the Training Center for Forestry Operators (CENFOR), State University UNICENTRO, from data of 124 professionals were trained in training VRHS. The averages of the variables that characterize the performance of operators were collected at the beginning and the end of two operational modules of the simulator. The results indicated that younger operators and highest level of schooling, best assimilated the techniques transmitted and obtained a better performance in the operational variables studied, demonstrating that the variables of age and education are important in identifying the ideal profile for the formation of an forest machine operator.

Key words: Virtual Reality Simulator, Harvester.

Introdução

O Brasil é atualmente uma referência mundial em produtividade e manejo sustentável de florestas plantadas (BRACELPA, 2009; ABRAF, 2011). O atual estágio de desenvolvimento do setor florestal ocorreu devido ao elevado nível tecnológico em todas as áreas do ciclo de produção, principalmente na colheita e transporte de madeira. Tal estágio, Segundo Parise (2006), ocorreu devido à mecanização das atividades, que se intensificou, significativamente, no início da década de 90, com a abertura do mercado à importação de máquinas e equipamentos de alta tecnologia e produtividade, originada dos países escandinavos e norte-americanos. As inovações na colheita de madeira registraram importantes avanços devido a sua complexidade operacional; importância econômica, representando de 50 a 70% do custo final da madeira posto-fábrica; necessidade de maior segurança e ergonomia ao operador; maior segurança na produção; melhoria da qualidade do produto e serviço; minimização de danos ambientais; aumento de produtividade e redução dos custos de produção (TRINDADE *et al.*, 1991; PACKALÉN, 2001; PARISE, 2006; MACHADO, 2008).

Segundo Parise (2008), com o avanço constante da tecnologia em relação às máquinas utilizadas na colheita de madeira, o maior desafio para a sua efetivação é a profissionalização da mão de obra. Robbins (2002) diz que um dos motivos para a crescente importância do treinamento é “à competição intensificada, às mudanças tecnológicas e a busca de aumento da produtividade, que tem acrescentado demandas de qualificação dos funcionários”. O treinamento tem por finalidade melhorar o desenvolvimento profissional do ser humano e o desempenho de suas funções, além de preparar e aperfeiçoar as habilidades e conhecimentos dos trabalhadores (MARRAS, 2001).

A importância do treinamento com o uso de simuladores virtuais é enfatizada por Lopes (2007), que diz que, devido ao elevado nível tecnológico e custos operacionais das máquinas, não é técnica e economicamente viável os treinamentos unicamente em situação real de campo pelo método da “tentativa e erro”. Por isso, a capacitação de operadores torna-se parte fundamental do processo, afetando diretamente a qualidade e a produtividade das operações. Por essa razão, o uso de simuladores de realidade virtual tornou-se uma ferramenta imprescindível nos treinamentos de operadores de máquinas florestais, possibilitando a capacitação em curto espaço de tempo e com baixos custos, além de tornar o trabalho mais seguro e humano. Entretanto, é imprescindível ainda que o operador a ser treinado apresente um conjunto de requisitos pessoais especiais determinantes, como a psicomotricidade, atenção, relação espacial e memória visual (PARISE, 2008).

Este trabalho objetivou avaliar a influência da idade e nível de escolaridade na formação de operadores com uso do simulador de realidade virtual, com vistas a obter melhorias no processo de treinamento e consequente aumento de qualidade e produtividade e redução dos custos de produção.

Material e Métodos

Este trabalho foi realizado no Centro de Formação de Operadores Florestais (CENFOR) da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), no município de Irati, Paraná, Brasil. A população pesquisada foi composta por uma amostra de 124 operadores sem experiência na função e que receberam treinamento de formação no SRVH, com carga horária de 40 horas semanais, durante o período de 2006 a 2011.

Avaliação do desempenho dos operadores no SRVH

Neste estudo foi utilizado o Simulador de Realidade Virtual Harvester da Simlog Simulation Launcher, que é montado em microcomputador e equipado com joysticks da Saitek, semelhantes aos utilizados nos equipamentos florestais. O programa de treinamento no SRVH é composto por sete módulos operacionais. Neste estudo foram avaliados os dois mais importantes e caracterizam as operações de corte florestal. O Módulo I (Execução de derrubada simples) é caracterizada pela derrubada de uma única árvore na direção de queda desejada com controle da altura de toco. O Módulo II (Execução de derrubada múltipla e empilhamento) é caracterizada pela derrubada e processamento de grupos de árvores, onde são controlados os comprimentos e o empilhando das toras em alvos específicos. As variáveis estudadas, pertinentes a cada módulo, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis avaliadas nos módulos do SRVH.

Table 1: Variables assessed in the modules of VRHS.

Variáveis	Descrição das variáveis	Módulo
Tempo de execução (s)	Tempo consumido para realização do ciclo completo no módulo.	I e II
Direção de queda (graus)	Angulação de queda da árvore em relação à direção desejada.	I
Altura do toco (cm)	Altura do corte das árvores em relação à altura desejada.	I e II
Eficiência do processamento (%)	Porcentagem de árvores processadas no ciclo operacional.	II
Eficiência do empilhamento (%)	Porcentagem de toras depositadas corretamente na caixa da pilha.	II
Produtividade (m ³ /hora)	Produtividade efetiva durante a operação.	II

Os valores das variáveis são gerados automaticamente pelo próprio software do SRVH, durante o treinamento.

As variáveis que caracterizaram o perfil dos operadores estudados foram a idade e o nível de escolaridade, que foram subdivididas nas classes Idade: (1) 18 a 22 anos; (2) 23 a 27 anos; (3) 28 a 32 anos; (4) 33 a 37 anos e (5) acima de 37 anos. Escolaridade: (1) Ensino Fundamental Incompleto; (2) Ensino Fundamental Completo; (3) Ensino Médio Incompleto e (4) Ensino Médio Completo.

Os dados fornecidos pelo software do SRVH foram coletados ao final de cada módulo operacional, contemplando as variáveis descritas. As médias de desempenho obtido por cada operador foram tabulados para o desenvolvimento dos cálculos. Antes de iniciar o treinamento, foram instituídas metas de desempenho aos operadores que necessitavam ser atingidas para cada variável dentro de cada módulo operacional, que foram estabelecidas pelo CENFOR, a partir de dados históricos de treinamento.

Análises estatísticas

Os dados de desempenho obtido pelos operadores no início e ao final de cada módulo operacional, dentro de cada variável e módulo operacional foram comparados entre si, pelo teste “T”, ao nível de 5% de probabilidade. Foi empregado ainda o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), onde as médias de desempenho dos operadores dentro das classes de idade e escolaridade foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os resultados de desempenho dos operadores em relação às variáveis tempo de execução, direção de queda, altura de toco, eficiência no processamento, eficiência no empilhamento e produtividade são apresentados a seguir.

Tempo de execução nos módulos operacionais

Como pode ser visto na Figura 2, os operadores de todas as idades melhoraram o desempenho no decorrer do treinamento, com redução do tempo de execução e ganhos significativos entre os períodos pré e pós-treinamento ($P < 0,05$).

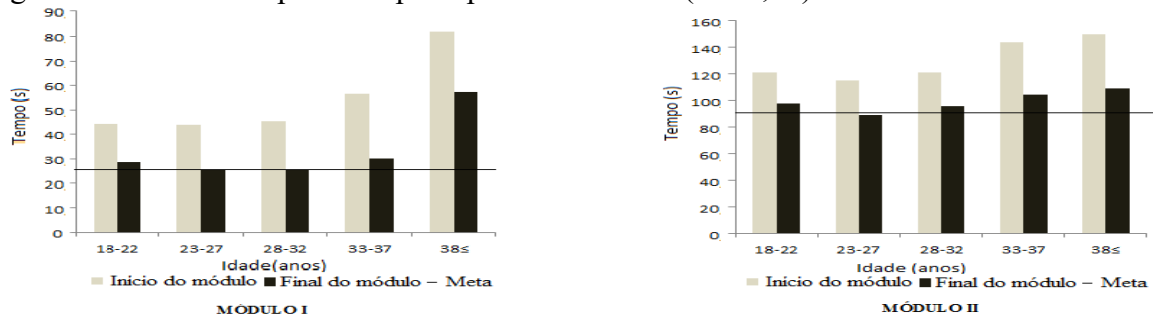


Figura 1: Desempenho médio dos operadores de diferentes idades em relação ao tempo de execução.

Figure 1: Average performance of operators of different ages in relation to the runtime.

Os operadores nas idades entre 23 e 32 anos apresentaram maior habilidade em relação aos demais, evidenciando que os mais jovens possuem um perfil adequado para serem capacitados no simulador e tornarem-se futuros operadores de máquinas florestais.

A Figura 3 mostra o desempenho médio dos operadores de diferentes níveis de escolaridade durante o treinamento no simulador virtual. Em relação ao módulo I, os resultados mostram que houve uma evolução no desempenho dos operadores no decorrer do treinamento, com ganho de desempenho entre os períodos avaliados em todas as classes de escolaridade ($P < 0,05$).

Em relação ao módulo II, caracterizado pela execução completa da derrubada e processamento das árvores, foi possível constatar que os operadores com maior grau de escolaridade apresentaram um melhor desempenho, indicando que os operadores com maior grau de escolaridade foram capazes de absorver melhor os ensinamentos transmitidos e atingir um melhor desempenho durante o treinamento no simulador virtual.

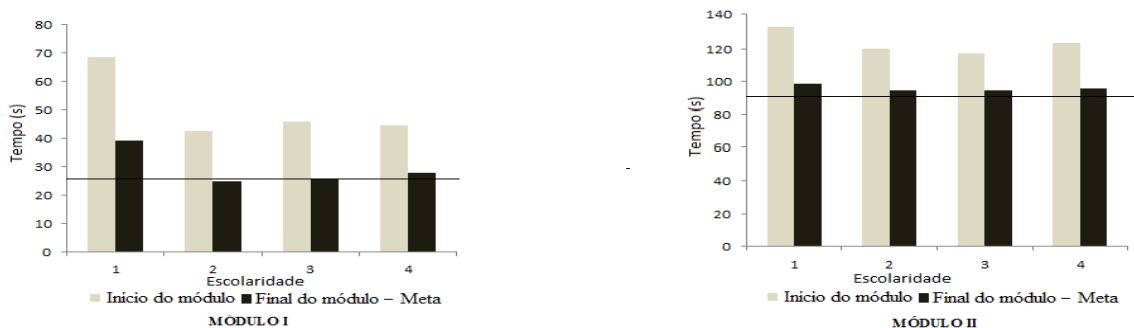


Figura 2: Desempenho médio dos operadores de diferentes níveis de escolaridade em relação ao tempo de execução.

Figure 2: Average performance of operators of different levels of schooling in relation to the runtime.

Direção de queda

Em relação à direção de queda, os operadores de todas as classes de idades melhoraram o desempenho no decorrer do treinamento, com redução significativa do erro entre os períodos pré e pós-treinamento, porém não sendo observada evolução entre os operadores de diferentes níveis de escolaridade ($P < 0,05$). Como pode ser visto, os operadores nas menores classes de idade apresentaram melhor desempenho em relação àqueles de maior idade (Figura 4). Tal resultado deve-se à maior exigência de coordenação motora para execução dos movimentos, sendo, portanto, mais difícil a assimilação por parte dos operadores de maior idade.

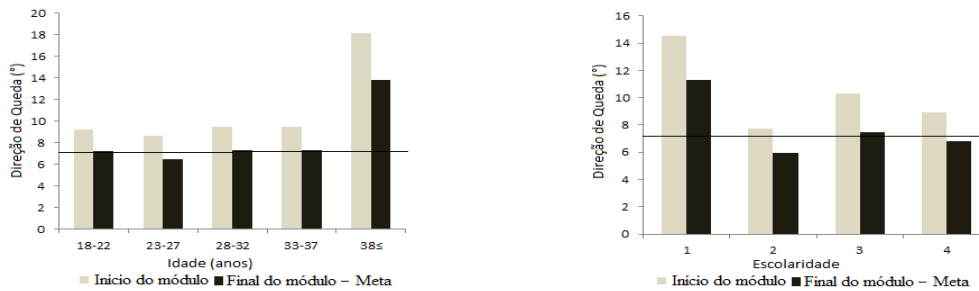


Figura 3: Desempenho médio dos operadores de diferentes níveis de idade e escolaridade em relação à direção de queda.

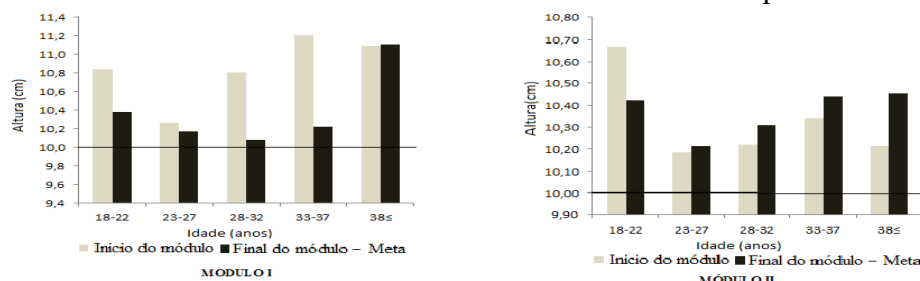
Figure 3: Average performance of operators of different levels of age and education in relation to the direction of fall.

Quanto ao nível de escolaridade, percebe-se a tendência dos operadores com maior grau de escolaridade apresentar melhor desempenho em relação aos das demais classes, que não foram capazes de atingir as metas de desempenho estabelecidas no treinamento.

Altura do toco

As Figuras 5 e 6 mostram o desempenho dos operadores de diferentes idades e escolaridade no treinamento em relação à altura de toco. Em relação à idade, percebe-se que os operadores melhoraram o desempenho no treinamento para o módulo I, com exceção da maior classe de idade ($P < 0,05$). No módulo II, houve um comportamento contrário, onde os operadores em todas as idades apresentaram menor desempenho. Tal resultado pode ser explicado pelo fato do módulo caracterizar a operação completa de corte florestal com maior grau de dificuldade.

Em relação à escolaridade, nota-se que não houve evolução no desempenho dos operadores no decorrer do treinamento em ambos os módulos operacionais ($P < 0,05$).



Figuras 4: Desempenho médio dos operadores de diferentes classes de idade em relação à altura do toco. Figure 4: Average performance of operators of different age classes in relation to stump height.

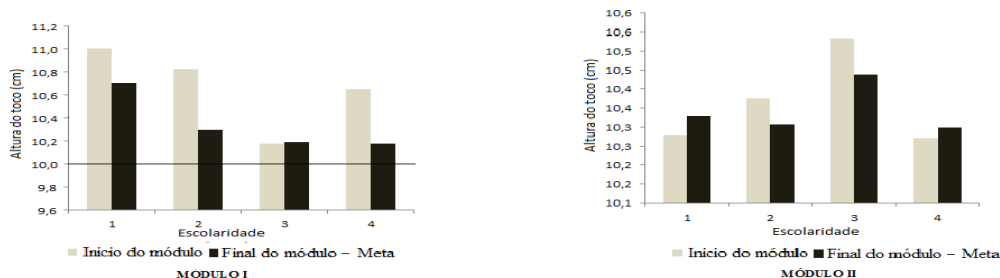


Figura 5: Desempenho médio dos operadores de diferentes classes de escolaridade em relação à altura do toco.

Figure 5: Average performance of operators of different classes of education in relation to stump height.

Eficiência no processamento

Como pode ser visto na Figura 7, os operadores de todas as classes de idade atingiram um melhor desempenho entre os períodos pré e pós-treinamento ($P < 0,05$). Os operadores a partir da faixa dos 23 anos apresentaram um melhor desempenho em relação a esta variável operacional, seguindo a mesma tendência com aqueles das idades superiores, atingindo a meta estabelecida durante o treinamento.

Em relação ao nível de escolaridade, percebe-se também que todos os operadores melhoraram o desempenho no decorrer do treinamento, sendo mais evidente para aqueles com maior nível de escolaridade ($P < 0,05$). Tal resultado novamente demonstra que os operadores com maior grau de escolaridade foram capazes de absorver melhor os ensinamentos transmitidos durante o treinamento, atingindo um desempenho bastante satisfatório no SRVH.

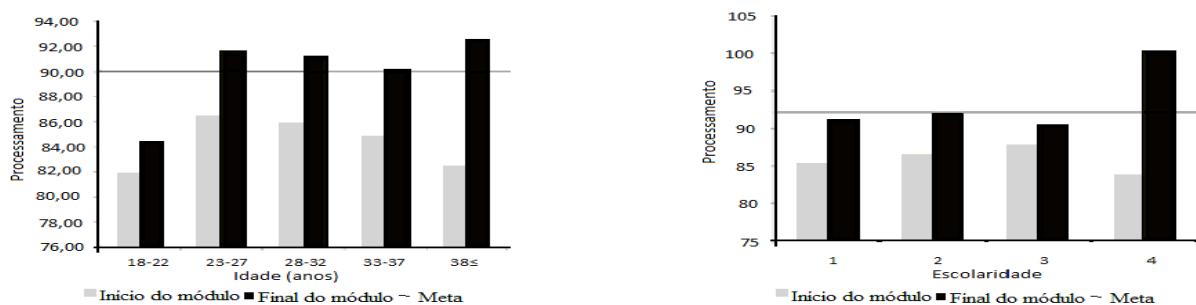


Figura 6: Desempenho médio dos operadores de diferentes idades e níveis de escolaridade em relação à eficiência no processamento.

Figure 6: Average performance of operators of different ages and educational levels in relation to efficiency in the processing.

Eficiência no empilhamento

Na Figura 8 é mostrado o desempenho dos operadores de diferentes idades e nível de escolaridade no treinamento em relação à variável eficiência no empilhamento. Como pode ser observado, os operadores de todas as classes de idade melhoraram o desempenho no decorrer do treinamento, com diferença significativa entre os períodos de avaliados ($P < 0,05$). O maior ganho ocorreu para os operadores de menor idade, porém, foram os operadores de 28 a 37 anos de idade que atingiram o melhor desempenho, ultrapassando a meta estabelecida.

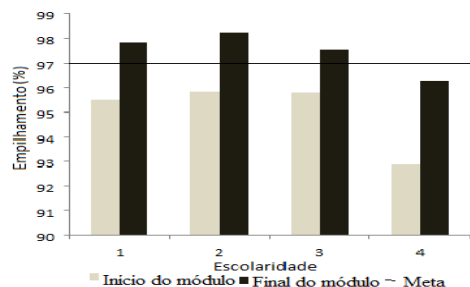
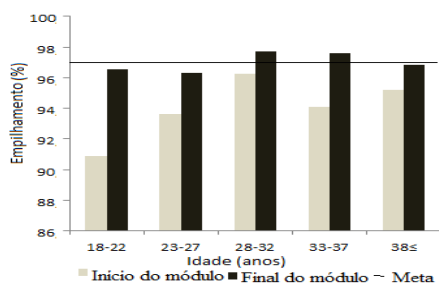


Figura 7: Desempenho médio dos operadores de diferentes idades e nível de escolaridade em relação à eficiência no empilhamento.

Figure 7: Average performance of operators of different ages and educational level in relation to efficiency in stacking.

Ao analisar o nível de escolaridade, verifica-se que os operadores de todas as classes evoluíram no decorrer do treinamento, com diferença significativa entre os períodos do treinamento ($P < 0,05$). Com exceção dos operadores do maior nível de escolaridade, todos os demais atingiram a meta de desempenho estabelecida no treinamento para esta variável.

Produtividade

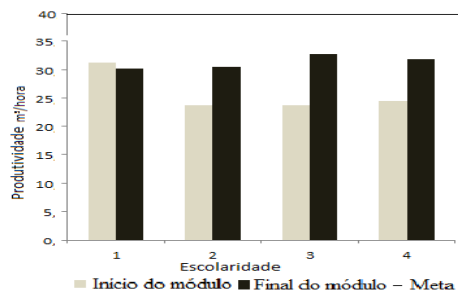
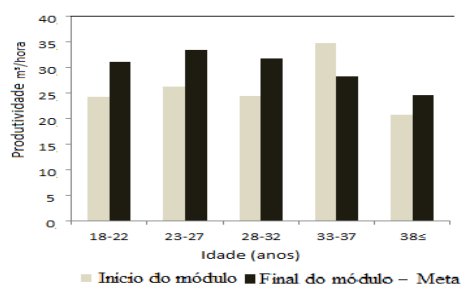


Figura 8: Desempenho médio dos operadores de diferentes idades e níveis de escolaridade em relação à produtividade.

Figure 8: Average performance of operators of different ages and educational levels in relation to productivity.

Quanto à produtividade, percebe-se um melhor desempenho por parte dos operadores mais jovens e com maior grau de escolaridade, os quais apresentaram uma evolução significativa entre os períodos pré e pós-treinamento ($P < 0,05$). Estes foram capazes de absorver melhor os ensinamentos transmitidos e atingir uma melhor função, demonstrando, portanto, que os operadores mais jovens e com maior grau de escolaridade apresentam um melhor perfil para a operação do harvester. Entretanto, deve-se ressaltar que, em ambas as situações estudadas, os operadores não atingiram a meta de produtividade de 40 m³/hora estabelecida para o treinamento (Figura 8).

Análise Estatística

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, referente às variáveis e módulos operacionais estudados. Quanto ao tempo de execução no módulo I, percebe-se que houve diferença significativa no desempenho dos operadores da classe de 28 a 32 anos em relação à classe de 38 anos. Em relação ao desempenho dos operadores de diferentes níveis de escolaridade não houve diferença estatística entre si.

Em relação à direção de queda no módulo I, verifica-se que houve diferença significativa no desempenho dos operadores mais jovens e com maior grau de escolaridade.

Tabela 2: Teste de Tukey, a 5 % de probabilidade, para as médias das variáveis operacionais.
Table 2: Tukey test at 5% probability for the average of the operating variables.

Variável Operacional	Operador/Classe		Módulo I	Módulo II
Tempo de execução (s)	Classe de idade (anos)	18 a 22	32,11 ab	93,07 a
		23 a 27	26,39 ab	92,20 a
		28 a 32	21,69 b	96,62 a
		33 a 37	30,26 ab	104,31 a
		38≤	60,66 a	109,41 a
	Classe de escolaridade	1	46,41 a	102,3 a
		2	25,5 a	94,22 a
		3	25,82 a	94,30 a
4		33,29 a	95,51 a	
Direção de queda (graus)	Classe de idade (anos)	18 a 22	7,26 b	-
		23 a 27	6,43 b	-
		28 a 32	6,84 b	-
		33 a 37	8,93 ab	-
		38≤	13,78 a	-
	Classe de escolaridade	1	11,3 a	--
		2	6,01 b	--
		3	7,45 ab	--
4		6,84 b	--	
Altura do toco (cm)	Classe de idade (anos)	18 a 22	10,38 a	10,42 a
		23 a 27	10,17 a	10,21 a
		28 a 32	10,08 a	10,30 a
		33 a 37	10,22 a	10,44 a
		38≤	11,11 a	10,46 a
	Classe de escolaridade	1	10,70 a	10,32 a
		2	10,30 a	10,30 a
		3	10,19 a	10,44 a
4		10,18 a	10,30 a	
Eficiência no processamento (%)	Classe de idade (anos)	18 a 22	-	84,49 a
		23 a 27	-	91,57 a
		28 a 32	-	91,17 a
		33 a 37	-	90,26 a
		38≤	-	92,60 a
	Classe de escolaridade	1	--	91,06 a
		2	--	92,03 a
		3	--	90,62 a
4		--	100,1 a	
Eficiência no empilhamento (%)	Classe de idade (anos)	18 a 22	-	96,52 a
		23 a 27	-	96,34 a
		28 a 32	-	97,69 a
		33 a 37	-	97,57 a
		38≤	-	96,82 a
	Classe de escolaridade	1	--	97,84 a
		2	--	98,23 a
		3	--	97,53 a
4		--	96,27 a	
Produividade (m ³ /hora)	Classe de idade (anos)	18 a 22	-	31,15 ab
		23 a 27	-	33,49 a
		28 a 32	-	31,82 ab
		33 a 37	-	28,21 b
		38≤	-	28,30 b
	Classe de escolaridade	1	--	30,16 a
		2	--	30,43 a
		3	--	32,63 a
4		--	31,69 a	

As diferenças nestas variáveis operacionais são devido ao nível de treinamento e a limitação para pessoas de maior e escolaridade na habilidade ou motricidade.

Em relação a variável altura do toco, não houve diferença significativa no desempenho dos operadores nas diferentes classes de idade e nível escolaridade, onde percebe-se que as médias de desempenho estabelecidas não foram atingidas, podendo, assim, utilizar esta variável para verificar a evolução na fase de treinamento.

O desempenho dos operadores em relação às variáveis eficiências no processamento e empilhamento não apresentam diferenças estatisticamente significativas nas distintas classes de idade e escolaridade, podendo ser relacionado de que as exigências de motricidade não são muito exigidas para estas variáveis. As médias de produtividade apresentaram diferença significativa no desempenho dos operadores da classe de idade de 23 a 27 anos em relação às classes de 33 a 37 e acima de 38 anos, não havendo diferença no desempenho dos operadores nas distintas classes de idade.

Conclusão

Os operadores obtiveram ganhos significativos no desempenho no decorrer do treinamento com o SRVH, resultando em uma formação qualificada.

Os operadores mais jovens e com maior grau de escolaridade apresentaram melhor desempenho, sendo o perfil ideal para a formação de operadores com uso do SRVH.

As faixas de idade entre 28 a 37 anos são consideradas as mais adequadas para a formação do operador, juntamente com maior grau de escolaridade possível.

O simulador virtual mostrou-se uma importante ferramenta para a formação de operadores de máquinas florestais de forma rápida, com maior eficiência e baixos custos.

Referências Bibliográficas

- ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). 2011. Anuário Estatístico da ABRAF: Ano base 2010 - 2011. ABRAF: Brasília. 130 p.
- BRACELPA (Associação Brasileira de Celulose e Papel). Produção de celulose no Brasil cresce 6,0% em 2009 no Brasil cresce 6,0% em 2009, totalizando 13,4 milhões de toneladas. Em línea. Disponível em: http://www.bracelpa.org.br/bra/releases_bracelpa/SRN_Chemical_Market_Pulp_Forecast_Mar_2009.PDF. Acesso em 14/07/2011.
- LOPES, E. S. 2007. A formação de Operadores Florestais em simuladores de realidade virtuais em 3D. Revista Opiniões, Dez 2006-Fev 2007.
- MARRAS, J. P. 2001. Administração de Recursos Humanos: Do Operacional ao Estratégico. 4. ed. Futura: São Paulo. 344 p.
- MACHADO, C. C. 2008. Colheita Florestal. 2ª ed. Viçosa: UFV. 501 p.
- PARISE, D. J. 2008. Competência do Operador de Máquinas de Colheita Florestal e Conhecimento Tácito: Estudo de caso. SENAI: Curitiba, Br. 9 p.
- PARISE, D. J. 2006. Qualificação e aperfeiçoamento profissional na colheita florestal no Brasil. In: Seminário de Atualização Sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. 14 ed. UFPR: Curitiba. Anais, p. 191-197.
- PACKALÉN, A. 2001. Swedish Study on Harvester Simulator Training: Costs cut, quality maintained. International Forestry Magazine: Timberjack News. n. 3, p. 20-21.
- ROBBINS, S. P. 2002. Administração: Mudanças e Perspectivas. 3ª tiragem. Saraiva: São Paulo.
- TRINDADE, C.; SARTÓRIO, M. L.; REZENDE, J. L. P. 1991. Controle de qualidade na exploração florestal. In: Simpósio Brasileiro Sobre Exploração e Transporte Florestal, 1 ed. SIF/UFV: Belho Horizonte. p. 185-197.

ESTUDIO DE TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DE “HARVESTER” CON ORUGA, OPERANDO EN RALEO Y TALA RASA DE *Pinus spp.* EN LA ZONA CENTRO DE MISIONES Y NORTE DE CORRIENTES, ARGENTINA.

TIME STUDY AND PRODUCTIVITY OF A CRAWLER "HARVESTER" BETWEEN THINNINGS AND CLEARCUT OF *Pinus spp.* IN MISIONES AND NORTH OF CORRIENTES, ARGENTINA.

Mulawka, Jorge A.¹; Friedl, Ramón A.²; Zaderenko, Constantino ², Alegranza, Diego A.³ y Mac Donagh, Patricio M.²

¹ Alumno de Ingeniería Forestal – Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Misiones. – jorge_am84@hotmail.com.

² Profesor. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. Eldorado, Misiones. Argentina. - mdonagh@facfor.unam.edu.ar

³ Consultor, Actitud Forestal.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación técnica del “harvester” con oruga, operando en plantaciones de *Pinus spp.*, entre un primer raleo en el centro de Misiones y una tala rasa, con y sin raleo en el norte de Corrientes. La evaluación técnica consistió en el estudio de tiempos y movimientos, obtención de la productividad, eficiencia operacional y la disponibilidad mecánica en las distintas operaciones mencionadas. De lo cual se puede decir, que al trabajar en sotobosques limpios, produjo una mayor eficiencia operacional del “harvester” con oruga, no así una mayor productividad, ya que esta última, está más reflejada al volumen de árbol a cosechar.

Palabras claves: Cosecha forestal; productividad; eficiencia operacional.

Summary

The aim of this study was to conduct a technical assessment of a "harvester", operating in plantations of *Pinus spp.*, in a first thinning in the center of Misiones and clear cut with and without thinnings in northern Corrientes. The technical evaluation consisted of the time and motion study, obtaining productivity, operational efficiency and mechanical availability in the various operations mentioned. It can be argued that the understory conditions, resulted in greater operational efficiency "harvester", but not higher productivity, since it is last, the more reflected in tree volume.

Keywords: Forest Harvesting, productivity, operational efficiency.

Introducción

La mecanización de las operaciones forestales se ha desarrollado en forma acelerada en los últimos años, principalmente en bosques implantados, los cuales presentan condiciones aptas

para mecanizar las actividades de cosecha con el objetivo de aumentar el rendimiento y reducir el costo de producción. Este proceso ha tenido como principal foco las operaciones de corte y elaboración de la madera.

El aumento de la demanda de madera, el incremento de los costos sociales de los trabajadores, la mayor importancia dada a la ergonomía y disponibilidad de máquinas específicas para tareas forestales fueron entre otras, causas que impulsaron la mecanización de la cosecha de árboles. Este proceso de mecanización tuvo su principal desarrollo en el hemisferio sur basándose fundamentalmente en la importación de tecnología de los países centrales (Mac Donagh, *et al* 1997).

Según Do Santos (1995), la introducción de máquinas y equipamientos que substituyen a la motosierra, permitió el aumento de la productividad en las operaciones de cosecha, minimizando la participación del hombre en el proceso productivo.

La productividad de una máquina de cosecha de madera depende de diversos factores, de los cuales se destaca: extensión del área de trabajo; aspecto climático; tipo de suelo; relieve; características del árbol, características de la forestación y del sistema de cosecha; y capacitación del operador (Seixas, 1998; Malinovski *et al.*, 2002)

Evaluaciones operacionales y la permanente búsqueda, desarrollo y adaptación de equipos y sistemas, son el mejor camino para optimizar la productividad, reducir costos y mejorar la calidad final del proceso y del producto. El estudio de “tiempos y movimientos” es usado para tal fin, ya que permite hacer correcciones o alteraciones del proceso de producción para racionalizar y optimizar el uso de los recursos empleados (Guimaraes, 2000).

El objetivo de este estudio fue realizar un análisis técnico del procesamiento de árboles de *Pinus spp*, utilizando al “harvester” con oruga en dos situaciones de trabajo diferentes. Los objetivos específicos fueron analizar el desempeño técnico de la máquina, determinar su productividad y potencialidad en el procesamiento del árbol, identificar y analizar los principales factores que afectan la productividad de la máquina.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio de caso sobre una empresa contratista de la zona centro de Misiones, que posee dos máquinas de iguales características, que realiza tareas de cosecha forestal en plantaciones de *Pinus spp*.

Para obtener una apreciación comparativa entre las actividades desarrolladas por el “harvester” con oruga e interpretación de las situaciones de estudio, se procedió a clasificarla en tres operaciones distintas detalladas en la **Tabla n°1**, con las características del rodal a intervenir en cada operación.

Tabla 1: Operación y características del rodal a intervenir.

Table 1: characteristics Operación y del Rodal to intervene.

Operación	1	2	3
Intervención.	Primer Raleo en Misiones.	Tala Rasa en Corrientes.	
Edad.	6 años.	15 años.	
Espaciamiento inicial.	2 x 3 m.	1,7 x 3,8 m.	
Tratamiento Previo.	Podas selectivas.	Raleo sanitario a los 12 años.	-
Densidad real.	1516 árbol/hectáreas.	619 árbol/hectáreas.	929 árbol/hectáreas.
DAP medio.	14,57 cm.	25,24 cm.	22, 64 cm.
Volumen árbol medio.	0,109 m ³ cc.	0,407 m ³ cc.	0.228 m ³ cc.

Se realizó un raleo combinado, operando en forma sistemática, realizando el apeo de todos los árboles del 3er línea de plantación (vía de saca), y en forma selectiva de los árboles no podados, hacia ambos lados, dos líneas contiguas de la 3er línea de plantación (1er; 2do; 4to y 5to línea), depositando las trozas a ambos lados de la vía de saca. La forma de operar en ambas situaciones presentes en la tala rasa fue de volteo sistemáticos de 3 líneas, 1er línea del lado izquierdo del avance de la máquina y el 2do y 3er línea de lado derecho del avance de la máquina, las trozas se depositaban del lado izquierdo del avance de la máquina.

La máquina base, denominada “harvester” con oruga, está formada por una retroexcavadora marca Caterpillar, modelo 312 de 12.860 kilogramos de peso, traccionada por orugas que ejercen una presión sobre el suelo de 39,4 Kpa, con un motor de 90 hp de potencia neta (**Imagen n° 1**). Equipada con un cabezal procesador marca Log Max modelo 5000 de 924 kg de peso, una capacidad máxima de procesamiento recomendada de 39 cm. de DAP del árbol, realizando la función de corte, volteo, desrame, trozado y apilado gracias a un sistema de mando computarizado que incluye un visor de cristal líquido e impresora, que realiza un control dimensional de la troza, producción y de la operación (**Imagen n° 2**).



Imagen 1: Retroexcavadora CAT 312.
Figure 1: Backhoe CAT 312.



Imagen 2: Cabezal procesador Low Max 5000.
Figure 2: Max Low 5000 head processor.

Previamente a que los árboles sean procesados por el “harvester”, se midió en cada uno el DAP y se calculó posteriormente su volumen. Se confeccionó un mapa en los sitios donde trabajará el “harvester”, que tendrá una configuración de matriz, en la cual las columnas de la misma representaran a las filas de plantación con una letra, dentro de cada columna se enumeraron los árboles, por lo tanto cada árbol quedó identificado en el terreno con un código que constara de una letra y un número, de manera que sean identificables en el terreno en el momento de la toma de tiempos. La medición del diámetro se obtuvo con forcípula y de la altura con hipsómetro.

Se realizó los estudios de tiempos con el fin de conocer los tiempos por ciclos y jornada, tiempo efectivos y generales. Se utilizó la metodología de toma de tiempos individuales, la cual consiste en descomponer el ciclo de trabajo en sus respectivas acciones, llamadas elementos o momentos, lleva a poder realizar un análisis completo del proceso y, más aún, detectar aquellos elementos críticos del ciclo que consumen proporcionalmente mayor cantidad de tiempo y que son motivo de un menor rendimiento.

La unidad experimental será el ciclo operacional en la producción del “harvester” con oruga. El cual está dividido en tiempos productivos y tiempos generales, cuya suma de ambos tiempos, corresponde al tiempo total del ciclo.

Se confeccionó una serie de planillas en las que se registraron las horas de inicio y fin de la toma de tiempo en cada jornada de trabajo y como así también registrando los ciclos y tiempos de cada actividad.

El tiempos de actividades efectivas constituye, el tiempo de procesamiento del árbol (TPR), el cual corresponde al volteo, desramé y trozado del árbol (incluido el tiempo de desplazamiento entre árbol), y el tiempo de acomodar ramas o trozas (TARoT).

Los tiempos generales corresponden a todos aquellos tiempos que no tuvieron relación directa con las actividades efectivas de trabajo. Como los tiempos de, movimientos, charlas operativas, mantenimientos, imperfectos mecánicos, necesidades fisiológicas y otros tiempos sucedidos de forma casual y no encuadrados en los especificados.

El cálculo del volumen (m^3) del árbol se generó utilizando funciones estimativas para cada región en cuestión. Para la zona de Corrientes se utilizó la función desarrollada por Fassola *et al*, (2006). Y para la zona de Misiones se utilizó la función desarrollada por Crechi *et al*, (2006).

Para determinar volúmenes elaborados en cada ciclo se utilizaron formula de cubicación particulares para cada región en cuestión, considerando también la diferenciación en productos a elaborar que presentan la misma. Para la zona de Corrientes se elaboró una fórmula para cubicar a partir de una muestra de 106 árboles en la cual se ajustó una función que estima el volumen (m^3) hasta 12 cm en punta fina. Y para la zona de Misiones se utilizó la fórmula desarrollada por el Simulador Forestal, la cual considera volúmenes (m^3) comercial con corteza hasta un diámetro en punta fina fijado por el usuario, en este caso se utiliza el árbol hasta 5 cm en punta fina.

Inicialmente fue realizado un estudio de tiempo y movimiento piloto de la máquina, en las distintas situaciones presentes, buscándose definir el número mínimo de observaciones necesarias, de modo de proporcionar un error de muestreo máximo de 5%.

Resultados y Discusión

Se obtuvo en la operación 1, un TPA 33,36 % menor que la operación 2, seguida por la operación 3 la cual tuvo un TPA 30,51 % menor a la operación 2. El mayor TPA en la operación 2 se justifica debido al mayor volumen del árbol a cosechar.

El menor TARoT se obtuvo en la operación 3 con un 42,73 % inferior a la operación 2, seguida de la operación 1 con un TARoT de 10,26 % menos que la operación 3. El mayor TARoT en la operación 2 se justifica a causa de que en el sotobosque de los rodales se encontraba todo el material del raleo sanitario previo, lo que dificulta la normal operación de la máquina.

El menor TTC (tiempo total del ciclo) se obtuvo en la operación 3 con un 41,14 % menos que la operación 2, seguida de la operación 1 la presente un TTC de 26,76 % menor que la operación 2. El menor TTC en la operación 3 se puede interpretar con la situación más parsimoniosa de operar la maquina en condiciones de un rodal con sotobosque limpio, lo cual se refleja en el mayor porcentaje del TTC destinado a las TAE (tiempo de actividades efectivas).

A continuación se detallan los porcentajes de distribución porcentual de los tiempos por ciclo, en las tres operaciones planteadas (**Gráfico n°: 1; 2; 3**).



Gráfico n°1: Operación 1
Figure 1: Operation 1



Gráfico n°2: Operación 2
Figure 2: Operation 2



Gráfico n°3: Operación 3
Figure 3: Operation 3

Como se observa en los gráficos anteriores, la operación 1, es la que menor proporción de su tiempo la destina al TPA (64 %) y si posee una mayor proporción de su tiempo destinada al TARoT (6 %), lo cual es coherente dado tipo de actividad que realiza. ya que al encontrarse una distancia mayor entre los árbol a procesar y mayor el volumen de estos, y que el tiempo de desplazamiento entre árboles está incluido en el TPA, es lógico que en la operación 2 el TPA es el mayor que ambas situaciones son tala rasa, debido a que en la operación 2 se hallaban muchos desperdicios en el soto bosque del raleo sanitario previo, que dificultaban la normal operación de la máquina.

La operación 3 es la que destina la mayor proporción del tiempo total, al TPA (83 %), esto se debe fundamentalmente la favorables condiciones que se dan al trabajar en un sotobosque limpio, reflejando esto en la menor proporción de los tiempos destinados al TARoT (1 %) en comparación a las otras operaciones planteadas en el presente estudio.

La menor proporción del tiempo destinada a los imperfectos mecánicos y mantenimiento de la máquina, se da claramente en la operación 3 en la cual se le presenta un sotobosque más limpio, siendo este ventajoso en el desenvolvimiento operativo de la máquina.

El TTC fue menor para la operación 3, una de las causante de esta suceso se debe a que se produjo menor imperfectos mecánicos, a causa que al trabajar en un sotobosque más limpio, se produce menos sucesos de rotura de mangueras o cadenas, entre otros.

Lopes, E. da S. *et al.*(2007), estudiando situación semejante a la operación 3 en el estado de Santa Catarina, Brasil, obtuvo un TTC 43 % mayor al dado en el presente estudio.

Siguiendo con el análisis, en el **Gráfico n° 4** se presen la productividad para el “harvester” con oruga. Y en el **Grafico n° 5**, la eficiencia del aprovechamiento en las 3 operaciones planteadas.



Gráfico n°4: Productividad
Figure 4: Productivity

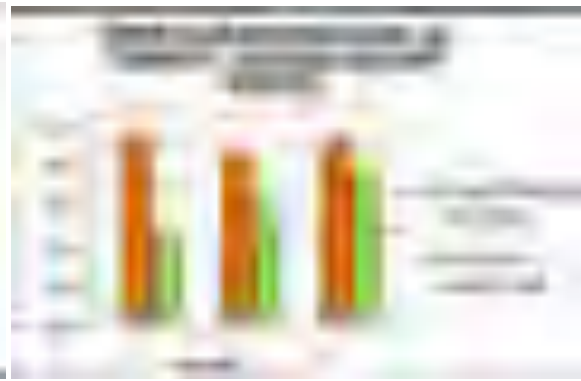


Gráfico n°5: Eficiencia del aprovechamiento
Figure 5: Efficiency of utilization

Como se observa en el gráfico n° 4, si hubo diferencias entre la productividad del “harvester” con oruga entre las distintas operaciones. La menor productividad se dio en operación 1, pudiendo ser explicada por el menor volumen del árbol ($0,109 \text{ m}^3 \text{ cc}$) y la menor eficiencia operacional del “harvester” con oruga. La mayor productividad se dio en la operación 2 (251 % más que la operación 1.), esto se explica, fundamentalmente por el mayor volumen del árbol ($0,407 \text{ m}^3 \text{ cc}$), ya que la eficiencia operacional no fue la mayor entre las situaciones estudiadas.

Scherf, H. *et al.* (2008), estudiando la productividad de un “harvester” con neumáticos en situación semejante a la operación 1, halló productividad de 18 % superior a la dada en el presente estudio, con un DAP medio de 17,2 cm.

Lopes, E. da S. *et al.* (2007), realizando estudios similares a la operación 3, obtuvo una productividad 32% mayor a la dada en el presente trabajo, lo cual puede ser explicada por un mayor volumen del árbol ($0,49 \text{ m}^3/\text{árb}$), en dicho estudio.

Entre las operaciones, no hubo diferencias en la disponibilidad mecánica del “harvester” con oruga pese a que se trabajó con dos máquinas base de iguales características, si se puede mencionar que la operación 2, fue la que menor disponibilidad mecánica presentó.

La eficiencia operacional fue mayor en la operación 3, y una menor eficiencia operacional en la operación 1. A demás, en la operación 3 fue 8 % mayor al comparar con estudios similares llevados a cabo en el estado de Santa Catarina, Brasil.

Conclusiones

En las condiciones desarrolladas en el presente trabajo y con base en el análisis y discusión de los resultados, el presente estudio permitió llegar a la conclusión que la productividad del “harvester” con oruga depende más del volumen del árbol, que de la eficiencia operacional de la máquina en las operaciones estudiadas. Y que la disponibilidad mecánica de la máquina, no está influenciada por el tipo de operación que realiza el “harvester” con oruga.

También, se puede decir que al trabajar en sotobosques limpios, disminuye la proporción del tiempo destinado a imperfectos mecánicos y mantenimientos del “harvester” con oruga, lo que se refleja en una mayor eficiencia operativa.

Agradecimiento

El presente trabajo fue financiado por la empresa INDUFOR S.R.L. y el proyecto FONTAR ANR 012/10-PITEC 07/06: “Desarrollo de Tecnología Adaptada para Empresas de Raleos en Proceso de Mecanización en el 15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

Cluster Forestal de Misiones y Corrientes, Argentina: Determinación de Rendimientos, Productividad y Costos con Base en Sistemas de Información Geográfica”.

Bibliografía

- CRECHI, E.; FASSOLA, H.; KELLER, A.; BARTH, S. (2006) “Modelos de estimación del volumen individual de árboles con y sin corteza de Pinus Taeda L. para la zona de Misiones, Argentina”. Trabajo presentado en las XII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF-INTA. Eldorado. 14 p.
- LOPES, E.; CRUZINIANI E.; NOGUERIA A.; FIEDLER N. (2007) “Avaliação Técnica e Econômica do corte de madeira de *pinus* com cabeçote Harvester em diferentes condições operacionais”. Floresta, Curitiba, PR, v. 37, n. 3. 305-313 p.
- FASSOLA, H.; CRECHI, E.; BARTH, S.; KELLER, A.; (2006) “Estimación del volumen individual de árboles con corteza en Pinus Taeda L. implantado en la zona NE de Corrientes, Argentina”. Trabajo presentado en las XII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF-INTA. Eldorado. 9 p.
- FRIEDL, R.; CRECH, E.; FASSOLA, H. (1997) “Manual de Descripción Técnica del Simulador Forestal de Pinus taeda 1.0”. INTA EEA Montecarlo – Facultad de Ciencias Forestales. 15 p.
- GUIMARAES, H. (2000) “A integração da colheita de madeira com a tecnologia de implantação do novos plntios”. Seminario de actualización sobre sistemas de colheita de madeira e transporte florestal, 11. Anais... Curitiba. 42 – 53 pp.
- MAC DONAGH, P.; MALINOVSKI, J. y MARLATS, R. (1997) “Extracción forestal de Pinus spp”. Evolución técnica entre tractores forestales articulados y tractores agrícolas adaptados. Información tecnológica. Vol. 8 n° 4.
- MALINOVSKI, J.; CAMARGO, C.; MALINOVSKI, R. (2002). Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). Colheita florestal. Viçosa, MG: UFV, Cap. 6., 145-67 p.
- SANTOS, S.; MACHADO, C. (1995) “Análise técnico-econômica da processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador”. Revista Árvore, v. 19, n. 3, p. 346-57.
- SCHERF, H.; MAC DONAGH, P. (2008) “Modelos para predecir productividad de un Harvester Randon RK 4.34F”. Disponible en Biblioteca de Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Informe de Integradora II. Eldorado, Misiones. 18 pp.
- SEIXAS, F. (1998) “Mecanização e exploração florestal. Piracicaba” SP: LCF/ESALQ/USP, Apostila de Colheita Florestal. 130 p.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CHASIS DE ACOPLADOS FORESTALES

FRAME STRUCTURAL ANÁLISIS OF FOREST TRAILERS

Zaderenko C ¹; Moschner M A ²

⁽¹⁾ MsC Ingeniero, Profesor Titular de Estatica y Resistencia de Materiales, UNaM, zaderenko@facfor.unam.edu.ar

⁽²⁾ Estudiante de Ingeniería Forestal UNaM, Supervisor de Carga y Transporte AP SA, mmoschner@altoparana.com

Resumen

Se realizó el estudio de resistencia de los chasis de acoplados de los camiones que abastecen con madera en rollos a Alto Paraná SA, con el fin de establecer las causas de fisuras detectadas en los mismos y proponer métodos para su prevención y reparación, garantizando la seguridad del transporte de 7.200 tn/día desde las plantaciones hasta las industrias. Inicialmente el transporte se hacía con camiones y acoplados con plataforma. Al reemplazarlos por equipos forestizados se observó la aparición de fisuras en los acoplados, no así en los camiones, que no se incluyen en el estudio. Se utilizó el análisis de estructuras convencional. Se contemplaron cargas estáticas y esfuerzos dinámicos repetitivos comprobando un coeficiente de seguridad reducido y que en condiciones severas se alcanza el límite de rotura. Las fallas son progresivas y se pueden prevenir mediante inspección sistemática. Como resultado se establecieron las causas de las fallas y se propusieron normas de inspección y reparación.

Palabras clave: transporte, madera en rollos, estructuras, tensiones, aceros

Summary

It was performed a study of structural strength for truck trailers used to supply round wood to Alto Paraná SA with the aim to establish the reason of detected fissures, and suggest methods of prevention and repair to grant safety in transport of the 7.200 tn/day from plantations to the factories. Initially transport was done by trucks and trailers with platforms. After change to forestized equipment, were observed failures on some of the trailers, and not on trucks which are not included on the study. Conventional Strength of Materials Analysis was adopted. Static loads and also dynamic and cyclic loads where considered. A low safety factor was found, and that at some severe load conditions stresses reach rupture limit. Failures are progressive and can be prevented conducting regular inspections. As a result of the study the origin of failures was established and inspection and repair policy defined.

Key words: transportation, round wood, structures, strain, steel

Introducción

Este sistema de transporte abastece 7.200 tn diarias de rollos de *Pinus spp* a las tres plantas de Alto Paraná SA de Misiones: de Pasta Celulósica en Pto. Esperanza, Aserradero y Fábrica de tableros de MDF, en Pto. Piray. El abastecimiento se realiza durante las 24 hs del día utilizando 124 acoplados registrados de los cuales 114 se encuentran en actividad.

El transporte de rollos se realiza desde al arranque de las plantas de Celulosa en 1982 y se incrementó a los valores actuales con la puesta en marcha de las plantas de Pto Piray a partir de 1997.

La experiencia adquirida en el sistema de transporte en este período permitió incorporar mejoras que hacen a la eficiencia y seguridad del mismo.

De la utilización de camiones y acoplados con plataforma se pasó a la forestización de los mismos lo que facilita la carga, limpieza y reduce el peso de los chasis permitiendo aumentar la carga transportada.

Actualmente el transporte es tercerizado y los camiones utilizados son 6 x 4 articulados, compuestos por un chasis y un acoplado forestal de dos ejes con capacidad de carga útil de 30 tn, y total de 45 tn. Las 124 unidades de diferentes marcas y modelos, con el 78 % de los acoplados de las marcas Hermann y de Sola y Brusa, con antigüedad promedio de 7 años. Anteriormente el transporte se hacía con camiones articulados simples y acoplados con plataforma, diseñados para el transporte de otros productos y sobre caminos diferentes a los que se presentan en el sector forestal, estos acoplados fueron forestizados en Talleres Metalúrgicos de la Región

Materiales y Métodos

El estudio se centró sobre los acoplados debido al resultado de las inspecciones que se realizan periódicamente, se detectaron fallas sistemáticas consistentes en fisuras en los largueros, en barras estabilizadoras entre “manotas” de elásticos y en los acoples giratorios de los acoplados.

Material de los chasis

El material de los chasis de acoplados es acero al carbono para construcción y estructuras. La calidad del acero utilizado en la estructura de los acoplados se pudo comprobar midiendo la Dureza Rockwell “C” sobre pequeñas muestras extraídas de las estructuras. Los valores de dureza se correlacionaron mediante gráficos con la resistencia del acero [3].

Descripción de la estructura

Los acoplados utilizados son de 7,4 m de largo por 2,4 m de ancho, de 2 ejes con ruedas duales, siendo el eje delantero direccional, Fig 1. Los largueros de los chasis de acoplados son de perfiles de acero al carbono con travesaños de perfiles “U” de chapa plegada de acero de la misma calidad. Los acoplados forestizados no poseen plataforma y en cambio se colocan travesaños (horquillas) que soportan las estacas laterales rebatibles. Estos conjuntos en número de cuatro y forma de “U” son desmontables, y se pueden desplazar sobre el chasis de acuerdo al

largo de la carga. Los acoplados presentan diferencias en las dimensiones de la sección de los largueros. El estudio se centra en acoplados de 2 ejes, en estos acoplados se respeta la carga total máxima admisible según normas de Vialidad Nacional y que en ningún caso supera el total de 20 Tn. En la parte delantera se encuentra la placa de giro del eje delantero, que está apoyada en un marco de perfiles que dan rigidez al extremo delantero del chasis.



Figura 1 Chasis de acoplado y Carga de acoplado
Figure 1 Trailer frame and trailer load

Descripción de la carga transportada

La carga puede estar compuesta por un atado de rollos de 4,3 m o 5,4 m de largo o por dos atados de 3,1 m o 3,6 m de largo cada uno. El ancho de carga es 2,4 m y la altura de los atados, limitada por la altura de estacas de 1,9 m resultando una altura total medida desde el suelo de 3,25 m, Fig 1.

La carga se centra respecto a los ejes cuando se trata de una “estiba” de rollos largos y se enrasa con los extremos del acoplado cuando se transportan dos “estibas” de rollos cortos.

Para la verificación se consideró una carga total es de 20 tn, constituida por una “estiba” de 5,4 m de largo.

Según norma IRAM se admite 10,5 tn por eje para rodado doble

Hipótesis de cálculo

Se aplica el criterio de superposición de cargas y efectos, normalmente aceptado en Resistencia de Materiales, [3].

La búsqueda de normas constructivas de vehículos de transporte y el particular acoplados no dio resultados ya que solo existen normativas que atañen a cargas, rodados, frenos y luces.

Las roturas se producen por falta de sección resistente del material para soportar las cargas normales, sobrecargas transitorias, y repetitivas que causan fatiga del material.



Figura 2. tensiones en largueros .
Figure 2. beam strain



Foto 3, rotura por fatiga. Fatigue failure

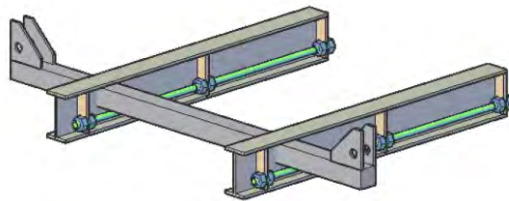


Figura 4, Refuerzos de largueros .Beam reinforcement

El inicio de las fisuras está muy relacionado con puntos de concentración de tensiones de origen constructivo como: recortes, cambios de sección, plegados, perforaciones, tensiones de soldaduras, inclusión de escoria en soldaduras y también las debidas a fallas del material como marcas de herramienta, poros y sopladuras, exfoliación proveniente de la laminación, etc. Las tensiones más peligrosas para el acero son las de corte ya sean de corte simple, corte debido a flexión o corte en la torsión. Cuando un punto el material alcanza la tensión de rotura para

cualquiera de los esfuerzos antes mencionados se inicia una fisura. Por tratarse de un perfil doble T el cálculo a torsión se debe realizar en tres partes, ala superior, alma, y ala inferior aplicando en cada una de estas secciones el Mt_{max} . Y se verifica con la máxima tensión de corte obtenida, Fig 2.

Esfuerzos y Tensiones del Material

Un análisis preliminar de sollicitaciones producidas por las cargas, realizado sobre un *diagrama de esfuerzos* de corte “Q” y momentos flexores “Mf” indica que la estructura de largueros y travesaños soporta flexión por carga distribuida que se transmite a los largueros en los puntos de apoyo de los soportes “U”, y sobrecargas dinámicas repetitivas que incrementan los esfuerzos y producen fatiga del material, Fig 3.

Cuando se trata de cargas dinámicas, American Society of Mechanical Engineers, (ASME) [2], recomienda utilizar la teoría de rotura de Guest con factores de impacto de 1,5 a 3 que afectan al Mf_{max} y Mt_{max} . Para cargas bruscas con choque ligero según A. Guzmán [3], resulta:

$$K_f = 1,5 \text{ (factor de impacto de flexión)} \quad K_t = 1 \text{ (factor de impacto de torsión)}$$

La Tensión de Guest que no debe superar la Tensión σ_{adm} del material, se calcula con la fórmula: $\sigma_{adm} = \sqrt{[\sigma^2 + 4\tau^2]}$

$$\text{Incorporando los factores de impacto resulta } \sigma_{adm} = \sqrt{[1,5\sigma^2 + 4\tau^2]}$$

Materiales, Coeficiente de Seguridad y Tensión Admisibile

El material utilizado en la construcción del chasis es acero al carbono de construcción (menos de 0,7% de C) normalmente utilizado en estructuras resistentes. La información suministrada por uno de los fabricantes indica Acero SAE 1020, (equivalente a DIN St 52) [2].

Se estipula un coeficiente de seguridad para vehículos de carga entre 5 y 10.

Para este material las tensiones admisibles a esfuerzos simples son:
 Tracción = $\sigma_{adm} = 1.606 \text{ kg/cm}^2$ Compresión = $\sigma_{adm} = 1.200 \text{ kg/cm}^2$ Corte = $\tau_{adm} = 900 \text{ kg/cm}^2$
 Flexión = $\sigma_{adm} = 1.200 \text{ kg/cm}^2$ Torsión = $\tau_{adm} = 1.260 \text{ kg/cm}^2$

Para tensiones combinadas, como en este caso, compuestas por flexión (tracción y compresión), tensión de corte asociada a la flexión y sumadas a las tensiones tangenciales de torsión, se recomienda aplicar la teoría de rotura de Guest, [3] (materiales dúctiles para estructuras resistentes). La tensión admisible de Guest se calculó con la fórmula: $\sigma_{adm} = \sqrt{[1,5\sigma^2 + 4\tau^2]}$

Resultados y Análisis

Los valores de dureza Rockwell “C” obtenidos indicaron que los perfiles y refuerzos de chasis de acoplados son de acero al carbono DIN ST 52 o aleado [1].

En base a las fallas de material observadas en los acoplados se determinó que las roturas se inician con fisuras, originadas en la concentración de tensiones, que luego progresan hasta que la sección resistente se reduce haciendo aumentar la tensión del material hasta la rotura. Esto fue corroborado al observarse roturas iniciadas en fisuras localizadas a aproximadamente 1,9 m del extremo delantero del chasis, coincidentes los puntos de los largueros en los que se combinan altos valores de la tensión de flexión con la tensión de corte máxima. La torsión se encuentra presente en las secciones de los perfiles en todo su largo, y por lo tanto también se suma a las anteriores. Hay evidencia de fatiga porque las roturas muestran una zona pulida por el roce prolongado entre las caras opuestas de las fisuras. Se asume que a las cargas de flexión se les suman cargas de torsión generando un estado de flexo-torsión dinámica repetitiva que deriva en fallas por fatiga del material corroboradas por las fisuras y reparaciones realizadas sobre los chasis. Las fisuras se originan en los extremos del ala inferior de los perfiles y en algunos casos en el alma del perfil en sentido vertical sin presencia de fisuras en las alas indicando esfuerzos de torsión. Se destaca que en la mayoría de los casos las roturas no se presentan en el punto de empalme del perfil principal alto, con el más bajo del extremo delantero. El cálculo con cargas estáticas indica que los largueros no reforzados trabajan cerca de su resistencia máxima, y si se aplican los coeficientes de carga dinámica y se considera la presencia del fenómeno de fatiga del material, se superan ampliamente las tensiones admisibles.

Para carga de dos atados cortos y midiendo distancias desde el extremo delantero se comprueba que el máximo esfuerzo de flexión se encuentra en el tramo de 2,5 m a 3 m. El máximo esfuerzo de corte se encuentra en los ejes delantero y trasero del acoplado. La combinación máxima de M_f (momento flexor) y Q (esfuerzo de corte) se encuentra a 1,9 m desde el extremo delantero.

Respecto a las tensiones del material: La máxima tensión de flexión se encuentra en la cara externa del ala inferior del doble T. La máxima tensión de corte por flexión se encuentra en la mitad de la sección del alma. La máxima tensión de corte por torsión se encuentra en la superficie externa del alma. La tensión de Guest resulto igual a 1.906 kg/cm^2 , (supera la tensión admisible de 1.606 kg/cm^2), [3].

La mayoría de las reparaciones observadas consisten en reforzar las alas inferior y superior del doble T y también colocar refuerzos laterales sobre el alma del perfil. Estos refuerzos laterales del alma serian más efectivos si se colocaran sobre los bordes de las alas conformando una estructura cerrada de tipo cajón, más eficiente para resistir torsión. Otra alternativa de refuerzo o reparación consiste en agregar costillas verticales dentro de los perfiles “doble T” lo que reduce la longitud libre de pandeo de los largueros aumentando su rigidez a la torsión.

Las soldaduras de refuerzos y reparaciones realizados en condiciones no controladas pueden generar tensiones de material adicionales que deben ser evitadas.

Conclusiones

Las cargas aportan poco a la rigidez del conjunto y en el caso de cargas cortas, en dos atados, poseen más movilidad y producen mayores esfuerzos alternativos y torsión pero menor esfuerzo de flexión por estar apoyadas más directamente sobre los ejes del acoplado

Los chasis de los acoplados poseen escasa rigidez de conjunto, en especial para resistir torsión, por escasa vinculación de los largueros principales entre si. Las cargas se intensifican por la fuerte inclinación lateral, debido a irregularidades del camino, la totalidad de la carga pasa a ser soportada por un solo larguero, que en estas condiciones debe soportar torsión. Los movimientos repetitivos verticales y laterales de la carga generan cargas dinámicas repetitivas, fatiga de material y esfuerzos de torsión respectivamente. Hay que destacar que la suspensión de los acoplados se compone de elásticos sin amortiguadores.

Las dimensiones de los largueros en la parte de menor altura de sus perfiles “doble T” poseen poco margen para soportar sobrecargas estáticas o dinámicas. Coeficiente de seguridad igual a 5.

Las roturas se producen por esfuerzos dinámicos repetidos que generan sobrecargas y fatiga de material.

Recomendaciones

Empleo de aceros más tenaces, perfiles de largueros de mayor sección resistente y un diseño de chasis con mayor vinculación ente los largueros para resistir los esfuerzos de torsión.

La colocación de porta-estaqueras atravesando las almas de los largueros aumenta la rigidez del conjunto a la torsión, y disminuye la altura de carga reduce aun mas el momento torsor aplicado al chasis, Fig 4. Sumado al uso de aceros micro-aleados marca DOMEX, como material de chasis, diseño de chasis con porta-estaqueras fijas, (utilizados por Arauco Chile). [4].

Aplicación de refuerzos y reparaciones en forma de cajón, aumentar el número de costillas dentro de los perfiles y/o aplicando tensores de refuerzo.

Realización de soldaduras con máquinas TIG, empleo de electrodos de acero maleable y soldadores certificados.

Otra forma de encarar el estudio consistiría en medir las deformaciones en puntos críticos del chasis cargado, predeterminados analíticamente, utilizando sensores de tensión “*strain-gauges*” y aplicando el método SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), para monitorear y registrar las tensiones obteniendo datos para proyecto de los acoplados.

Agradecimientos

A la Empresa Alto Paraná SA por haber permitido la realización del presente estudio y auspicio de la presentación del mismo en las Jornadas Técnicas Forestales 2012.

Bibliografía

- [1]. Ensayo Industriales, Gonzalez – Palazón, Ed Labor, 1957.
- [2]. Mechanical Engineering Handbook, L S Marks, Mc Graw Hill, 1941.
- [3]. Resistencia de Materiales, Arturo Guzmán, CEILP, 1970.
- [4]. http://brugsa.com.ar/data/catalogo_domex.pdf, 24pp.

EMPRESAS FORESTALES, MODELOS DE OPERACIÓN Y COSTOS ASOCIADOS PARA LA REGIÓN NOA

FORESTRY COMPANIES, OPERATING FOREST MODELS AND ASSOCIATED COSTS IN NORTHWESTERN ARGENTINA

Balducci, E¹; Sanchez Cuartielles, E²; Eliano, P³; Malizia, L.R⁴

¹ Ingeniero forestal, Unidad Gestión de Bosques Nativos Provincia de Jujuy, Secretaría de Gestión Ambiental Provincia de Jujuy, ezequielbalducci@gmail.com, ² Coordinadora Área Manejo Forestal, Fundación ProYungas sede Jujuy, Alvear 678, of. 23, 4600 San Salvador de Jujuy, ambienteforestal@proyungas.org.ar, ³ Coordinador técnico AFIJUY, Belgrano 969 1º piso oficina 30, 4600-San Salvador de Jujuy, feliano@arnet.com.ar, ⁴ Cátedra de Ecología de Comunidades, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, Alberdi 47, 4600 San Salvador de Jujuy, luciomalizia@gmail.com.

Resumen

La falta de información sobre aspectos económicos y operativos de los aprovechamientos forestales realizados en el NOA es reflejada en los distintos diagnósticos sectoriales efectuados hasta el momento. Esto dificulta conocer la evolución económica del sector, trazar perspectivas y establecer políticas públicas de apoyo. En función de ello, y en el marco del Proyecto Estrategias de Manejo Forestal para la provincia de Jujuy, financiado por la Ley 26331, se realizó un trabajo de relevamiento de información sobre distintos aspectos de estas operaciones de aprovechamiento y manejo forestal. El diagnóstico se focalizó en aspectos como la capacidad de planificación, la estructura, tamaño, temporalidad, infraestructura, recursos humanos, tiempos operacionales y costos de cada una de las empresas evaluadas. Los resultados obtenidos, ayudan al mejor entendimiento de la actividad, la percepción de sus actores y las necesidades de tecnificación para la mejora de la rentabilidad y sustentabilidad del modelo de gestión forestal.

Palabras clave: relevamiento, rentabilidad, gestión, forestal, aprovechamiento.

Summary

The lack of information on economic and operational aspects of forest logging performed in the NOA (Northwestern Argentina) is reflected in the different sectorial assessments made so far. This makes difficult the understanding of forestry sector developments, as well as establishing prospects and policies to draw public support. On that basis, and in the framework of the Forest Management Strategies for the province of Jujuy, funded by the Law 26331, a survey was performed to compile information on the different aspects of current logging operations and forest management. Diagnosis is focused on issues such as capacity planning, structure, size, infrastructure, human resources, operational time and costs of each of the companies evaluated. The results obtained help the better understanding of the activity, the perception of the parts involved and the needs of improving profitability and sustainability of forest management model.

Key words: survey, profitability, forest management, logging

Introducción

La planificación general del aprovechamiento forestal es fundamental para establecer prácticas sostenibles y conciliar la necesidad de un control técnico durante las operaciones con la reducción de los costos de aprovechamiento y manejo forestal.

Las informaciones sobre costos y modalidades de gestión son de suma importancia, en especial como herramientas de apoyo para la toma de decisiones en la formulación de políticas forestales y sus reglamentaciones de aplicación práctica, las cuales pueden favorecer las iniciativas existentes de buen manejo forestal en las provincias. La sistematización de la información y las experiencias en el sector forestal provincial y regional del NOA son imprescindibles para convertir y socializar los conocimientos supuestos en explícitos.

El objetivo del relevamiento fue rescatar las experiencias del sector forestal, tratando de identificar los factores que representan un condicionante económico prioritario de la cadena productiva forestal, o bien los mayores problemas operativos, el nivel de información sobre la gestión forestal sostenible y los puntos débiles en los datos obtenidos que requerirían una ampliación del estudio.

Este es un trabajo que se ha realizado en el marco del proyecto “Estrategia de Manejo Forestal Sustentable en la Provincia de Jujuy”, que se implementa en conjunto entre la Secretaría de Gestión Ambiental de la Provincia de Jujuy, la Fundación ProYungas y el Instituto de Cooperación Tecnológica para el Desarrollo Sustentable del Colegio de Ingenieros de Jujuy, además de la colaboración de la Asociación Foresto Industrial de Jujuy. El financiamiento del proyecto lo otorga la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, en el marco de los Proyectos Pilotos 2009 de la Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos.

Materiales y Métodos

Vista la necesidad de recopilar la información que existe de forma dispersa sobre los costos de manejo y además resaltar los huecos de información existente, se decidió realizar un relevamiento y sistematización de la información de costos y de organización de las empresas forestales que trabajan en la región. La metodología usada consistió en el empleo de una combinación de herramientas de relevamiento de información para datos cuantitativos y cualitativos (entrevistas a actores claves del sector forestal) y revisión bibliográfica. Para ello, se realizaron 19 entrevistas entre propietarios forestales, técnicos de empresas forestales, y personal de campo, a través de una ficha de relevamiento de información, mayoritariamente de la provincia de Jujuy.

Para la realización de las encuestas se concertaron entrevistas con responsables de aprovechamientos forestales. Del total de 19 entrevistados, 17 fueron productores (89%), 1 encargado de finca (5%) y 1 profesional forestal (5%). Las entrevistas fueron realizadas en la provincia de Jujuy (15 empresas) y Salta (4 empresas). La gran diversidad de situaciones y condiciones que se constataron en el relevamiento, refleja el mosaico del sector forestal privado actualmente operativo en la región.

Resultados

Perfil de las empresas

Respecto a la tenencia de las tierras forestales aprovechadas del total de entrevistados, 10 (el 52%) son propietarios, realizando el aprovechamiento forestal en sus propios bosques, mientras que 9 (47%) lo hacen en propiedades de terceros, bajo la modalidad de arriendo. Tres de estos arrendatarios además prestan servicios como subcontratistas.

En relación a los procesos industriales de transformación de la madera de las 19 empresas entrevistadas, 5 (26%) venden la madera sin ninguna transformación. De las restantes 14, solo 4 (21%) realizan una primera transformación y 10 (52%) a este primer proceso, agregan una segunda etapa, produciendo muebles, aberturas, pisos y terciados.

Del análisis de los mercados de venta, se destaca la importancia del mercado interno local, siendo el prevalente. Solamente 2 empresas de las 19 entrevistadas (10%) declara vender la madera al exterior del país, aunque de manera ocasional. Precisamente el tipo de

mercado condiciona las prácticas de aprovechamiento forestal y el perfil de empresas que actualmente se establecen en la región, ya que la tendencia de manejo forestal sostenible vinculado a la certificación forestal como garantía para el consumidor de los productos forestales no tiene influencia a nivel local.

En cuanto a la comercialización, el trocillo es el producto más habitual en especies como el palo blanco (*Calycophyllum multiflorum*), palo amarillo (*Phyllostylon rhamnoides*), cebil (*Anadathera columbrina*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y parte del quebracho colorado (*Schinopsis haenkeana*). En estas especies, el productor no obtiene mejores precios por la madera larga (rollos mayores a 5 mts de largo). El trocillo es además una medida cómoda, ya que coincide con la utilización en aberturas (2,20 a 2,40 mts). Los varejones, solo se obtienen de plantaciones de Eucalyptus, y sus dimensiones varían entre los 2 a 4 mts de largo en diámetros menores a 15 cm.

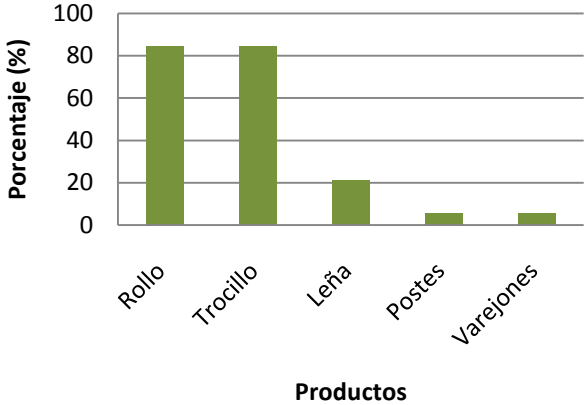


Figura :1 Porcentaje de extracción de productos forestales

La superficie promedio por productor anualmente aprovechada resultante es de 289 ha, en un intervalo de mínimo de 60 ha y un máximo de 1200 ha. El volumen promedio resultado de las encuestas es de 926 m³/año con un intervalo de variación de un mínimo de 190 m³/año y un máximo de 4000 m³/año. Extrayendo los valores extremos, que pueden distorsionar el valor medio, resulta un promedio de 462 m³/año.

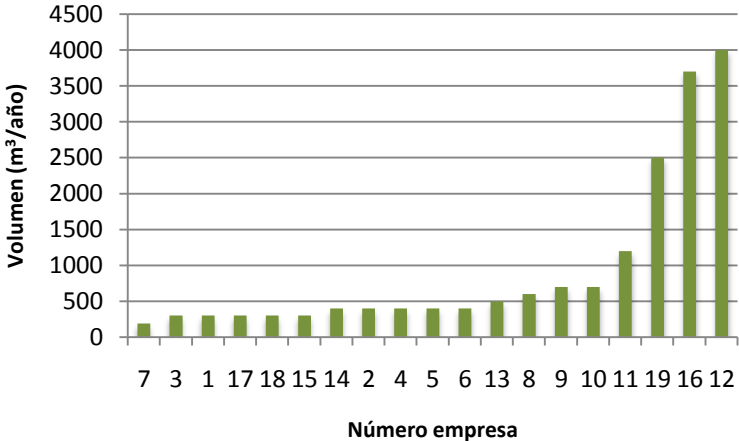


Figura 2: Volumen anual aprovechado (m³) por empresa.
Figure:1 Annual volumen of forest logging for forest management.

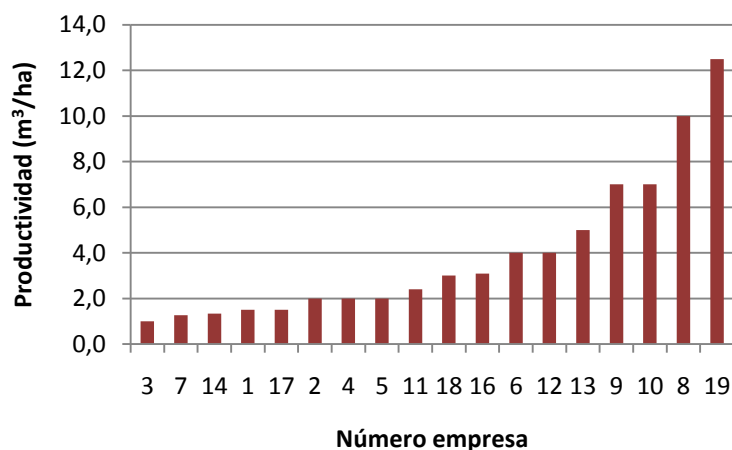


Figura 3: Productividad (m³/ha) por empresa.

Figure 3: Productivity of forest logging for forest management.

Respecto a la relación volumen/superficie, la media es de 4 m³/ha, oscilando entre un máximo de 13 m³/ha y un mínimo de 1 m³/ha.

En el NOA, la actividad forestal se desarrolla en dos ecorregiones: Yungas y el Bosque Chaqueño. En las Yungas, como respuesta a un fuerte gradiente ambiental, fundamentalmente marcado por variaciones de humedad y temperatura, la vegetación se organiza en pisos: Selva Pedemontana (entre los 400 a 700 m s.n.m), Selva Montana (entre los 700 a 1500 m s.n.m) y Bosque Montano (entre los 1500 a 3000 m s.n.m) (Brown *et al*, 2001). De las empresas evaluadas, 8 (44%) desarrollan sus actividades en el piso altitudinal inferior de Yungas, la Selva Pedemontana. Además las mayores productividades se ubican en este piso (finca 19), mientras que las productividades más bajas se sitúan en los pisos altitudinales del Bosque Montano y la Selva Montana. Esta situación evidencia, que el pedemonte es el área con mayor presión por sobreexplotación. Sin considerar los valores extremos en el promedio, la productividad disminuye a 3,6 m³/ha.

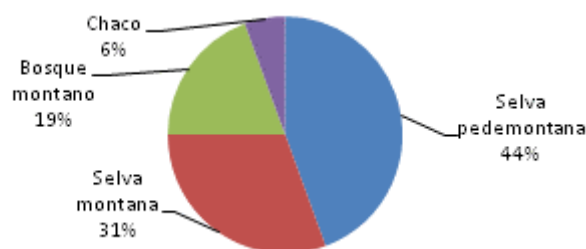


Figura 4: Distribución de las fincas en función del ambiente y el piso altitudinal.

Figure 4: Distribution of property according to the environment and the altitude.

El número promedio de especies utilizadas por las empresas consultadas es de 6, siendo las de mayor importancia quina colorada (*Myroxylon peruiferum*), cebil, palo blanco, palo amarillo, cedro oran (*Cedrela balansae*) y lapacho rosado (*Handroanthus impetiginosus*). Hay una marcada diferencia entre las 6 primeras y el resto de especies señaladas como aprovechadas por las empresas consultadas. Se ha clasificado a las especies en función del valor maderero otorgado, como muy valiosas (MV), valiosas (V) y poco valiosas (PV). El mayor volumen extraído corresponde a una de las especies clasificadas como MV y a 3 de las clasificadas V.

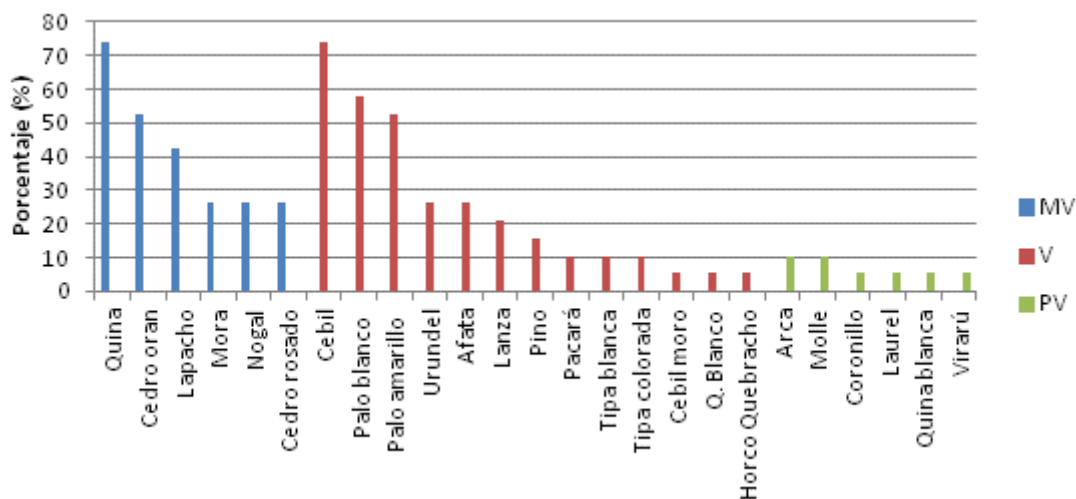


Figura 5: Preferencia de elección de las especies respecto el total del pool indicado por los entrevistados.

Figure 5: Preferred choice of species respect to the total species.

La duración media de las campañas forestales es de 6 meses, con promedio de 7 personas contratadas por campaña. Respecto a la forma de trabajo, si bien existen algunos empleados en relación de dependencia, la mayoría de los operarios que trabaja en el sector son contratados bajo condiciones irregulares y son remunerados en función de la productividad (por m³ producido). Más del 60% de los operarios trabajan bajo esta modalidad.

Precepción sobre la utilidad de la planificación forestal y la certificación voluntaria

La Resolución N° 81/2009 de la Secretaria de Gestión Ambiental de la provincia de Jujuy establece la obligatoriedad a partir del año 2011, de la presentación de Planes de Manejo Forestal Sostenible (PMS), estableciendo una serie de parámetros técnicos y legales e incorporando los parámetros mínimos previstos en la Ley 26.331. La aprobación de dichos Planes, son condición para obtener los permisos de extracción y transporte de los productos forestales.

Según las encuestas realizadas, casi el 80 % de las personas entrevistadas señalaron conocer los PMS; sin embargo, existen dudas si se los distinguen de los planes de aprovechamiento, que eran necesarios antes de la aparición de la nueva normativa.

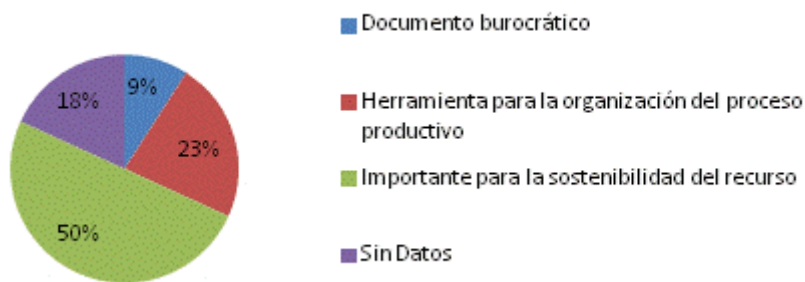


Figura 6: Conocimiento sobre los PMS.

Figure 6: Knowledge of PMS

Se indagó además a los entrevistados sobre sus consideraciones a cerca de la certificación forestal. Trece empresas (más del 65%) no están dispuestas a iniciar un proceso de certificación voluntaria, mientras que 5 (26%) manifestaron interés. Se debe aclarar que entre las empresas consultadas existe una actualmente certificada bajo el sello FSC.

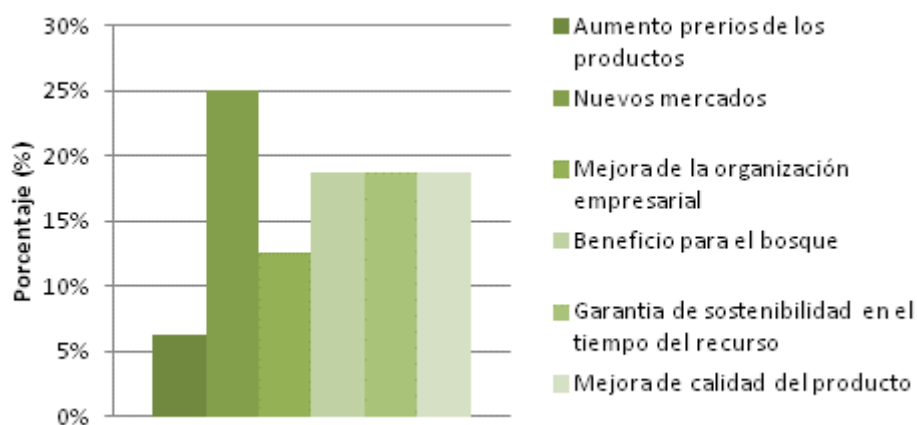


Figura 7: Motivos de interés en la certificación forestal voluntaria.

Figure 7: Subjects of interest in voluntary forest certification.

Operaciones forestales y relevamiento de costos

Inventario forestal y Censos

Los inventarios y censos forestales son una herramienta básica imprescindible de los PMS y para determinar la eficiencia del resto de las operaciones forestales. Los resultados de las encuestas sugieren que los entrevistados consideran a los inventarios como los relevamientos pre-cosecha (monteos) realizados tradicionalmente en las fincas forestales. Solamente 2 de las 13 empresas que manifiestan realizar inventarios tienen contabilizado el costo que ello supone, para dichas empresas el costo de la realización de los inventarios es de 15 \$/ha y 12 \$/ha respectivamente.

Un total de 9 empresas (47%) manifiestan realizar censo comercial. Las 10 restantes (52%) no realiza esta tarea. De los datos obtenidos de las encuestas el promedio de número de árboles censados al día es de 48, 5, aunque los valores varían de un máximo de 100 árboles/día hasta un mínimo de 25 árboles/día. La diferencia puede ser debida al piso altitudinal donde se opera. Si descartamos los valores extremos, el rendimiento medio del censo es de 43 árboles/día.

Extracción – Volteo

Se ha relevado el rendimiento de los equipos de volteo, declarándose una productividad media de 10, 5 m³/día. En promedio el costo relativo de los motosierristas es de 65, 4 \$/m³, aunque varía de un máximo de 100 \$/m³ a un mínimo de 35\$/m³. La mayoría de las empresas entrevistadas trabaja con cuadrillas formadas por un motosierrista y un ayudante.

Doce de las empresas encuestadas (63 %), conocen el consumo de combustible por día durante las actividades de extracción y solamente 9 (el 47%) conocen los costos de repuestos, insumos y mantenimiento de las motosierras. En total, el costo promedio de la actividad de volteo es de 71 \$/m³. Respecto a la forma de ejecución de la actividad de volteo, se obtuvo que solamente 4 empresas (21%) implementan técnicas de volteo dirigido.

Rodeo

La distancia media de rodeo o arrastre en las fincas evaluadas es de 888 m, aunque varía de un máximo de 2600 m a un mínimo de 100 m. Respecto al volumen rodeado al día, el promedio es de 12 m³/día, y varía entre un máximo de 30 m³/día y 3 m³/día, y generalmente se emplea el Skidder o tractor forestal.

Diez de las empresas consultadas (53%) desconocen el costo de esta actividad. El promedio relevado de las empresas que tienen identificado este costo es de 181 \$/m³, con una variación entre 300 \$/m³ y 80 \$/m³. El consumo medio de combustible es de 41 \$/día, por lo que el costo total del rodeo se estima en 200\$/m³.

Tratamientos silvícolas

Solamente 5 de las empresas entrevistadas (26%) realizan tratamientos silvícolas, de las cuales la mayoría desconoce los costos y el tiempo invertido en dichas labores. Solamente se ha obtenido un valor orientativo de los costos de esta actividad (20\$/m³). Los tratamientos silvícolas mayormente aplicados son la selección de semilleros y la eliminación de árboles enfermos y/o sobremaduros.

Flete

Según el resultado de las encuestas, 11 empresas (57%) realizan el transporte con medios propios. La distancia media de flete en función de los datos relevados es de 91 km, con un máximo de 200 km y un mínimo de 5 km.

El costo promedio de transporte, es de 190 \$/m³ y teniendo en cuenta las distancias de transporte resulta en 3,3 \$/m³ por km. De estos datos se hace evidente que el flete resulta clave en los costos de la actividad.

Caminos forestales

Dieciséis de las empresas consultadas (84%) manifiestan que realizan una planificación antes de la ejecución de los caminos forestales, pero existe un gran desconocimiento de los costos de construcción y mantenimiento. El precio de hora de máquina (topadora) en promedio es de 445 \$/hora la contratada y de 385 \$/hora la propia, no obstante oscila entre un máximo de 600 \$/h hasta un mínimo de 200 \$/h según los resultados de las encuestas. Cabe resaltar que solamente 10 de los encuestados (53%) conoce este valor. El número de horas para la construcción de caminos es de 11,47 hs/km; sin embargo, solamente el 42% de los encuestados han sabido dar una respuesta a esta pregunta. El costo de construcción de los caminos forestales es en promedio de 5200 \$/km y el mantenimiento anual es de 1215 \$/km, lo que supondría un 20% del costo de construcción medio. El mantenimiento, principalmente respecto a las obras de drenaje, lo realizan el 74% de las empresas encuestadas.

Capacitaciones

Nueve empresas (47%) proporcionan capacitaciones a los trabajadores principalmente en volteo dirigido. Este es un dato importante, ya que demuestra el interés que tiene el empresario en aplicar las nuevas técnicas de cosecha de bajo impacto y por lo tanto, indica un cambio en la percepción del trabajo forestal. No existen valores de costos para las capacitaciones realizadas.

En la tabla que sigue se cuantifica el porcentaje de rubros de los que se tiene conocimiento por empresa y aquellos con mayor seguimiento.

Rubros	Porcentajes de respuestas afirmativas
Censo	44%
Inventario	14%
Extracción	
Caminos y mantenimiento	79%
Volteo (personal)	63%
Volteo combustible y repuestos	58%
Rodeo	74%
Carga	32%
Transporte	63%

Aserrió portátil	17%
Silvicultura	20%
Otros gastos	
Campamento	68%
Equipamiento del personal	63%
Seguros	26%
Técnico-administrativo	32%

Se destaca el gran desconocimiento (85%) de los costos de la realización de los inventarios forestales, aunque la gran mayoría de las empresas forestales (68%) declara realizar un inventario para conocer el estado y la cantidad del recurso forestal existente en los predios. Esto se debe principalmente a que los censos e inventarios que se han realizado hasta el momento, se ejecutan para obtener el permiso de extracción, en la mayoría de casos sin compromiso por parte de los propietarios. Con la entrada en vigor de la nueva normativa y la obligatoriedad de realizar los inventarios según las pautas establecidas en la misma, esta realidad debería cambiar.

Esgrimiendo las principales razones por las cuales los tratamientos silvícolas no tienen tradición en el NOA, podríamos considerar someramente las siguientes:

- Falta de formación silvícola de los propietarios forestales. Existe desconocimiento de lo que es silvicultura, y de su posible rentabilidad.
- La estructura de tenencia de la tierra/operación. Los propietarios forestales pueden comprender la necesidad de mantener la productividad de sus propios recursos forestales, no así el arrendatario.
- Estado actual del recurso forestal, que desalienta a los propietarios a inversiones a largo plazo.
- Déficit en extensión forestal, para divulgar las ventajas de aplicar tratamientos silvícolas apropiados.
- Altos riesgos de incendios forestales, que generan incertidumbre ante la posible inversión por parte del propietario en tratamientos de mejora de la masa forestal.
- Falta de personal calificado.
- Estabilidad del precio de la madera y aumento considerable de costos de producción, que reducen la rentabilidad

A modo de resumen, se exponen a continuación los principales costos por etapa del aprovechamiento. Los valores son los promedios de las empresas relevadas. Se incluye el valor equivalente en litros de gasoil, teniendo en cuenta que se ha usado como valor de referencia, 5.5\$/litro de 2011.

Rubros	Costos promedio	Equivalencia (1 gasoil)
Inventario	13.5 \$/ha	2.45 l/ha
Caminos construcción	5200 \$/km	645.45 l/km
Caminos mantenimiento	1215 \$/Km*año	221 l/km*año
Volteo	71 \$/m ³	13 l/m ³
Rodeo	181 \$/m ³	33l/m ³
Carga	107\$/m ³	19.5 l/m ³
Flete	190 \$/m ³	34.5 l/m ³
Tratamientos silvícolas	-	-
Campamento	37.2 \$/m ³	6.75 l/m ³
Técnico-administrativo	3.8 \$/m ³	0.70 l/m ³

Conclusiones

De un análisis global, se puede afirmar que existe un cierto desconocimiento de los costos de las diversas operaciones forestales y que sólo una mínima parte de las empresas mantiene un suficiente control de la propia estructura de costos.

El sector forestal no prioriza la necesidad de trabajar de forma ordenada y planificada. Los resultados obtenidos evidencian la poca información recibida respecto los a PMS y remarcan la importancia de focalizarse sobre trabajos de capacitación y sensibilización del sector. Planificar la actividad a través de los PMS y los Planes Operativos Forestales por Áreas de Aprovechamiento Anual, es una de las principales innovaciones del modelo sostenible de aprovechamientos forestales y representa una herramienta de gestión del bosque imprescindible para la sostenibilidad del recurso a largo plazo.

Respecto la certificación voluntaria, no existe un interés destacado en emprender dicho proceso, y además existe una marcada disparidad de razones entre los que indican cierto interés en la certificación. Esta dispersión de opiniones respalda la idea por la que no existen motivos específicos para la elección de una certificación voluntaria, sin embargo se intuye por parte del sector que puede ser una oportunidad de mejora sin embargo no se tiene opinión unánime sobre los beneficios que aporta.

Agradecimientos

Se agradece a los 19 entrevistados por la contribución con el presente trabajo, que proveyeron los datos de costos y sistemas de manejo forestal que aquí se publican. Agradecimientos al Ingeniero Forestal Rafael Ortiz por su valiosa ayuda prestada.

Bibliografía

- Eliano, P.M.; Badinier, C. y Malizia L.R. 2009 Manejo Forestal Sustentable en Yungas. Protocolo para el desarrollo de un plan de manejo forestal e implementación en una finca piloto. Ediciones del Subtrópico, Fundación ProYungas. Tucumán, Argentina.
- Kappelle, M. y A. D. Brown (Eds.). 2001. Bosques nublados del neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica.
- Minetti J; Bessonart S.J; y Balducci, E. 2009. La actividad en la Selva Pedemontana del norte de Salta en: Selva Pedemontana de las Yungas. Historia Natural, Ecología y Manejo de un Ecosistema en Peligro. Fundación ProYungas, Ediciones del Subtrópico. Tucumán, Argentina.

EVOLUCIÓN DE LOS COSTOS DE COSECHA Y DE LOS PRECIOS DE LAS MADERAS PROVENIENTES DE LA RESERVA DE BIOSFERA YABOTÍ (RBY), EN EL PERIODO 2006 AL 2010

EVOLUTION OF THE HARVEST COSTS AND PRICES OF TIMBER FROM THE YABOTÍ BIOPHERE RESERVE (YBR) IN THE PERIOD 2006 TO 2010

Bedrij, N. A.¹; Mac Donagh, P. M.²

¹ Ing. Ftal. Bertoni 124. Facultad de Ciencias Forestales. nabedrij@gmail.com;

² MSc. Ing. Ftal. Bertoni 124. Prof. Adjunto. Categoría I. Facultad de Ciencias Forestales -Universidad Nacional de Misiones. mdonagh@facfor.unam.edu.ar

Resumen

Son objetivos estudiar la evolución de precios de los rollizos nativos y la variación de los costos de extracción en bosques de la RBY, y determinar cuál de las cuatro variables analizadas: Índice de Costo de la Construcción (ICC), cotización del dólar, precios de salarios y precios de gasoil; posee una relación más estrecha con el comportamiento de los precios en pie de estas maderas. Se trabajó con las especies nativas más representativas en cuanto a volumen y facturación.

Los análisis estadístico realizados (método: regresión lineal múltiple) determinaron, que las variables que podrían explicar de manera significativa el precio de la madera una vez cosechada, son la cotización del dólar y el ICC, presentando ambas variables *valores-P* < a 0.05, y mostrando el modelo estadístico un R^2_{aj} de 93,47%.

Además, se realizó una comparación de los costos de cosecha provistos por el Colegio de Ingenieros y los obtenidos en este trabajo. Se observó que hasta fines de 2007 los valores de costo de cosecha están subestimados, a partir de 2008 en adelante se observa que estos costos se sobreestiman, alzándose en ocasiones hasta un 50% sobre los costos obtenidos en este trabajo.

Palabras clave: Costos, Reserva de Biosfera, cosecha forestal

Summary

The aim of this work was to study the evolution of logs prices and cost, in harvesting operations in subtropical forest area of Yabotí Biosphere Reserve (RBY), and determine which of the four variables analyzed: Index of Construction Cost (ICC), U.S. dollar exchange rate, prices wages and prices of diesel, has the strongest relationship with the behavior of logs prices. We worked with the more representative species in volume and billing terms. The statistical analysis performed (methods: multiple lineal regression) determined that the variables that could influence in a significantly way on the price of the wood after being harvested, are the rate of the dollar US\$ and the ICC, presenting both variables values of smaller p-level at 0.05, and showing the obtained statistical model R^2 adjusted of 93,47 %.

Also, it was carried out an analysis of harvesting cost, between costs provided by the College of Forest Engineers of Misiones and those obtained in this work. It was noted that until late 2007, the harvest cost values are underestimated, from 2008 onwards shows that these costs are overestimated, sometimes rising up to 50% on costs obtained in this work.

Keywords: Costs, Biosphere Reserve, logging

Introducción

La década pasada ha sido testigo de varias transformaciones en el sector forestal, con cambios en la estructura de la industria, los mercados de productos forestales, la propiedad y forma de manejo de los bosques (IVERS, 2004). En la práctica, la mayoría de las operaciones de cosecha en los bosques tropicales siguen siendo llevadas a cabo por personal sin capacitación y sin supervisión, y con operadores de tractor trabajando sin la ayuda de mapas topográficos, sin registros de las rutas de extracción, y propietarios sin incentivos financieros para reducir los impactos medioambientales perjudiciales de sus actividades (ITTO, 2007; PUTZ *et al.* 2008). Esto lleva a que los costos de producción sean altos, haya una baja utilización del bosque y una gran cantidad de desperdicios o residuos (VENEGAS y LOUMAN, 2001; EHRINGHAUS y NÚÑEZ, 2003; MAC DONAGH y CUBBAGE, 2007). PUTZ *et al.* (2008) determinaron que los madereros que practican cosecha convencional poseen pérdidas de hasta 20% del volumen comercial en las actividades de tala. Para la región, MAC DONAGH *et al.* (2005) llegan a valores del 40 %. Esta pérdida es atribuible a la modalidad de cosecha mencionada en párrafos anteriores.

El aprovechamiento de estos bosques se concentra en pequeñas empresas, que tienen baja tecnología y escasa capacidad de inversión. En Misiones, la madera de los bosques son comercializados en pié, por lo cual la empresa se encarga de realizar todos los trámites ante el ente regulador y luego entrega el rodal al obrajero, quien finalmente decide de acuerdo a su criterio los árboles a extraer (EHRINGHAUS y NUÑEZ, 2003).

Los aprovechamientos realizados en bosques degradados serán más atractivos financieramente, pero para que estos sean sustentables necesitan de un muy buen manejo. En una primera aproximación, en cuanto menores sean los costos, mayores son los márgenes. Algunos de los factores que influyen en la formación del costo de las empresas que abastecen industrias pueden ser: tipo de maquinaria usada, características de rodales, sistema de organización de la empresa, escala o volumen de trabajo, y / o función de producción (DÍAZ y MAC DONAGH, 2001; SOSA, 2007).

Generalmente, entre el 30 al 60 % de los costos de la madera puesta en la industria corresponden a los costos de cosecha. De este porcentaje, entre el 25 al 50 % corresponde a la etapa de transporte, es decir, que el porcentaje restante (del 25 al 50 %) corresponde a las etapas de: corte, extracción y carga. En estas últimas etapas (corte, extracción y carga) son sobre las cuales se expresan los costos de las variables que influyen en forma directa sobre el margen de ganancia que pueden obtener los propietarios, y sobre las que pueden influir los mismos.

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución de los costos, precios y términos relativos de intercambio en el aprovechamiento de las maderas nativas provenientes de los bosques subtropicales, y determinar cuál de las cuatro variables analizadas: Índice de Costo de la Construcción (ICC), cotización del dólar, precios de salarios y precios de gasoil; posee una relación más estrecha con el comportamiento de los precios en pie de estas maderas, en el periodo 2006 al 2010.

Materiales y Métodos

La Reserva de Biosfera Yabotí (RBY), fue creada en el año 1993 según la Ley Provincial N° 3041, y constituye una superficie de 236.313ha (MEyRNRyT, 2009). Se encuentra en el centro-este de la Provincia de Misiones, departamentos de San Pedro y

Guaraní. Está compuesta por 3 parques provinciales, 2 áreas protegidas, a estas áreas la rodean 118 lotes correspondientes a 33 propiedades privadas, siendo su principal actividad el aprovechamiento forestal del monte nativo (MERNRYT, 2009).

Variables de estudio

Determinación de las especies de estudio: La serie de datos de precios de rollos de madera nativa de la RBY, del periodo correspondiente entre los años 2006 al 2010 inclusive, fueron provistos por el Colegio de Ingenieros Forestales de Misiones (COIFORM). Estos valores se encuentran expresados en metro cúbico Alto Paraná (m^3AP), se eligió expresarlos en la unidad de medida del Sistema Internacional. Relación de $10,5 m^3AP$ equivalen a $1m^3$

Las diferentes especies cosechadas durante los años 2006 al 2010 fueron provistas por el Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables y Turismo.

Se analizaron las siguientes especies: *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (Anchico colorado), *Ocotea puberula* (Nees et Mart.) (Laurel guaica), *Luehea divaricata* Mart. (Azota caballo), *Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr. (Grapia), *Patagonula americana* L. (Guayubira), *Cedrella fissilis* Vell. (Cedro). Las mismas, representan el 87,5 % del total de la facturación de las especies totales cosechadas y aproximadamente el 70% del total del volumen cosechado. MAC DONAGH y CUBBAGE (2007)

- Cotización del dólar: La cotización del dólar se obtuvo del resumen que ofrece el Banco Central de la República Argentina, a través de su página web oficial.

- Precios de Gasoil y Nafta: Se adquirieron los datos de la variable hidrocarburos (gasoil y nafta), por medio de la página web del Ministerio de Energía, y Secretaria de Minería de la Nación.

- Índice de Costo de la Construcción: Se analizó el Índice de Costo de la Construcción (ICC) como índice de costo de aprovechamiento forestal, el cual se obtuvo del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo-INDEC). Esta variable fue utilizada en los análisis necesarios para la realización de este trabajo, ya que por el momento no se cuenta con un indicador que estime la variación, en los años analizados, de los costos de las operaciones forestales y al ser, la construcción y la actividad forestal, dos actividades que involucran en sus operaciones maquinaria pesada y trabajos de diversas dificultades y peligros, se decidió emplear el ICC como índice de costo de aprovechamiento forestal.

- Precios de salarios: las etapas de cosecha analizadas se dividen en: por un lado el volteo, el descopado y el trozado del árbol y, por otro lado en la extracción y carga del árbol. La primera etapa es llevada a cabo, por el motosierrista y el ayudante, y la segunda es realizada mediante la ayuda de un tractor Zanella. El motosierrista, un ayudante y un tractorista conforman el equipo de cosecha tipo. Los valores se obtuvieron de la Dirección Nacional de Registro Oficial de valores salariales a través del Boletín Oficial de la República Argentina.

Determinación de Costos de maquinarias

Las características de las máquinas utilizadas para la producción de los productos forestales fueron provistas, de manera informal, por empresas de la zona dedicadas a la prestación de este servicio y empresas que brindan servicio técnico a éstas. Los datos se analizaron a través de la utilización de la metodología de costos propuesta por FAO/ECE/KWF que clasifica los costos en fijos, semifijos y variables. En ellos se utilizaron los coeficientes establecidos por MALINOVSKI (1983), estos coeficientes son utilizados para la determinación de los costos de administración, mantenimientos, amortización y consumo de combustible y lubricantes, los cuales representan un porcentaje de los costos de producción.

Determinación del Volumen maderable de estudio

En un estudio realizado por NUÑEZ *et al* (2005) se determinó que la cantidad de metros cúbicos promedio de producción mensual que produce una empresa del sector, fue de 421,11 m³/mes. Dado que las características de las maquinarias así como también la cantidad de personas utilizadas para la elaboración de materia prima en el estudio son similares, se optó por emplear dicho valor de producción, en cada trimestre analizado, y de esta manera obtener el precio promedio de estas especies puestas en planchada.

Análisis y procesamiento de datos

Debido a la cantidad de datos estudiados los mismos fueron concentrados cronológicamente por trimestres, dentro de una planilla Excel. Se obtuvieron para cada variable diecinueve valores presentados por promedios, y elaborados a través de las bases de valores originales.

A fin de trabajar con valores con mayor estabilidad se decidió llevar los datos obtenidos de los precios de madera, precios de salarios y precios de gasoil, a la moneda dólar estadounidense (US\$).

Posteriormente, se procedió al cálculo de la evolución de cada variable por medio de los incrementos y decrecimientos presentados, de manera porcentual.

Paralelamente, se realizó un análisis de los costos de cosecha obtenidos: costos totales y parciales de cada una de las actividades: de elaboración y de extracción y carga. Asimismo, se analizó los costos de cosecha totales obtenidos y los costos de cosecha presentados por el COIFORM.

Análisis estadístico

A fin de identificar y cuantificar la relación funcional entre las variables mencionadas se realizaron análisis estadísticos. Primeramente, se realizó un análisis de correlación entre las variables estudiadas a fin de determinar la medida en la cual se relacionan las variables entre sí. Luego, se construyeron modelos de ecuación, con las variables examinadas, y sus correspondientes ajustes. Las variables independientes con las cuales se han establecido los modelos estadísticos variaron en cada ocasión, según fuera el análisis realizado.

En todas las ocasiones se trabajó con un nivel de confianza del 95%. Los análisis de regresión que se realizaron en el presente trabajo se enumeran a continuación, indicando la herramienta estadística utilizada y las variables empleadas.

Análisis N°1.- Se utiliza los precios promedios de las maderas nativas en pie como variable dependiente y las variables ICC y cotización del dólar como las variables independientes. El estudio se realizó mediante el análisis de regresión lineal simple y múltiple entre la variable dependiente y las variables independientes.

Análisis N°2.- Se utiliza los precios promedios de las maderas nativas una vez realizada la cosecha como variable dependiente y como variables independientes se utilizan la cotización del dólar el ICC, el precio del Salario y precio del Gasoil. Estas dos últimas variables forman parte de los costos que solventa la empresa al momento de llevar a cabo las actividades de cosecha. Se realiza un análisis de regresión lineal múltiple.

Resultados

Los incrementos porcentuales de las variables son heterogéneos, presentando el mayor aumento las variables: precio de madera nativa y el ICC, siendo menor el incremento presentando por la variable Dólar. Se observó que se produjo un aumento del precio de las

maderas nativas y que, en proporción, estos incrementos fueron disminuyendo. Por su parte, los costos de producción continuaron aumentando.

Los valores de precio corriente promedio de las maderas nativas utilizadas para el análisis presentaron incrementos superiores al 100 % durante los cinco años los mayores incrementos se apreciaron en el primer año de estudio. Una vez convertidos los precios de los rollizos de las maderas a la divisa dólar estadounidense y comparado con el precio expresado en peso argentino, se observó que el comportamiento de los precios obtenidos en la divisa peso argentino – dólar, difiere a lo largo del periodo de estudio, hasta en un 40 %. Presentando, a su vez, incrementos menores en comparación a los presentados por los bosques subtropicales de otras regiones del mundo.

Se realizaron análisis estadísticos de correlación y de regresión lineal simple y múltiple entre las variables ICC, Cotización de dólar y precio de la madera nativa en pie. Siendo el precio de la madera nativa en pie la variable dependiente. Se observó que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95% y un valor-P menor a 0,05. Lo cual determina que la variación del precio de las maderas nativas en pie podría estar explicada por la variación que presentan las variables ICC y cotización de dólar. Tanto el coeficiente de correlación como el coeficiente de determinación resultaron mayores en comparación con los presentados por cada una de las variables independientes, en relación a la variable dependiente.

Luego, se procedió al análisis de la influencia de las variables independientes sobre la variación presentada por la variable dependiente (precios de la madera nativa una vez cosechada). Primeramente, se realizó en análisis de correlación en el cual las variables presentaron distintos grados de correlación entre cada una de las variables de leves a fuertes. Una vez obtenidos los valores presentados por la correlación entre cada par de variables, estas fueron comparadas mediante un análisis regresión lineal, a fin de obtener el modelo con el mejor ajuste. Los valores-P más elevados fueron los presentados por las variables: precio de Gasoil y precio de Salario. Siendo éstas estadísticamente no significativas y optando, por ello, utilizar los valores presentados por las variables ICC y US\$ para estimar los posible valores que presentaría la variable dependiente, madera nativa. Sin embargo, utilizando diversas combinaciones de las variables antes explicadas se observa que, según los parámetros estadísticos R^2 ajustado y el error medio, el modelo estadístico que presentó el mejor ajuste contempla a las variables: ICC y cotización del dólar. Lo cual determina que la variación del precio de las maderas nativas una vez realizada su cosecha, podría estar explicado por la variación que presentan las variables ICC y cotización de dólar.

Por otro lado, se observó que los costos de cosecha, y dos de sus componentes: corte, y extracción y carga, se comportan de diversa manera, a lo largo del periodo analizado. Los costos de elaboración presentaron incrementos hasta agosto del 2008, a partir de allí decrecen hasta un 13 %. Por otra parte, si bien los costos de extracción y carga han presentado disminuciones en el mismo periodo que lo hicieron los costos de elaboración, estos han sido menores al 10 %, luego aumentaron mostrando valores superiores a 11 US\$/m³. Se aprecia que la evolución de los costos totales de cosecha sigue la tendencia presentada por los costos de extracción y carga, no así de los costos de elaboración.

Se analizaron los valores de los costos de elaboración, extracción y carga que brindó el COIFORM y los mismos se han comparado con los valores obtenidos en este trabajo. Los costos analizados han presentado, en ocasiones diferencias leves y marcadas de hasta más del 50%. Los costos provistos por el COIFORM son máximos en el año 2008 y en el presente estudio en el 2010. Estas diferencias se manifiestan debido a que el COIFORM no utiliza una metodología establecida para la obtención de los costos de cosecha. Los costos son establecidos mediante encuestas a contratistas que prestan servicios en la zona y que no cuentan con una metodología de costos.

Conclusiones

Por medio del presente trabajo se ha conseguido determinar como ha sido la evolución de los costos de cada uno de los componentes de la cosecha en montes nativos. Y a su vez, establecer la variación de los precios según las variables que lo conforman.

Se observó que los incrementos porcentuales de las variables son heterogéneos, presentando el mayor aumento las variables: precio de madera nativa y el ICC. El precio promedio del grupo de las maderas nativas estudiadas se incrementó y, en proporción, estos incrementos fueron disminuyendo año a año.

Los análisis estadísticos determinaron que los precios de las maderas nativas en pie, así como también una vez realizada su cosecha, pueden determinarse mediante el uso de modelos matemáticos que contemplan la variación del comportamiento que poseen las variables analizadas.

En relación a los costos de cosecha obtenidos se observó que los valores de costo de cosecha del COIFORM en los primeros dos periodos analizados se encuentran subestimado y en adelante éstos costos se sobreestiman, alzándose en ocasiones hasta un 50 %.

Este estudio permitió establecer modelos matemáticos que permiten, a través de ellos, estimar el comportamiento de los precios de las maderas nativas provenientes de la Reserva de Biosfera Yabotí.

Bibliografía

- Base de datos de las especies aprovechadas en los lotes de los propietarios de la Reserva de Biosfera Yabotí, brindada por el MINISTERIO DE ECOLOGÍA y RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y TURISMO (MERNRyT), periodo del 2006 al 2010.
- DIAZ A. y MAC DONAGH P. Análisis económico de sistemas de cosecha de Pinus spp en Misiones, Argentina. Silvoargentina II. Eldorado.Misiones. Septiembre de 2001. pp 8.
- EHRINGHAUS G. y NÚÑEZ P. 2003. Comparación entre costos reales y teóricos de aprovechamiento forestal de bosques nativos de misiones, Argentina. Integradora II. Julio 2003.
- HOLMES T. BLATEB G. ZWEEDEC J. PEREIRA JR. R. BARRETO P. BOLTZ F. BAUCH R. 2002. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. ELSEVIER Forest Ecology and Management 163. pp. 93–110
- IVERS, L. 2004. Incentivos económicos para el manejo forestal sostenible (MFS) y la restauración del paisaje. Programa de Bosques (PROFOR) Banco Mundial.
- ITTO. 2007. Status of Tropical Forest management 2005. International Tropical Timber Organization. Yokohama - Japan.
- MAC DONAGH P; RIVERO L; BULFE N; TERESCZUCH M; CUBBAGE F. 2007. Hacia el aprovechamiento sustentable de bosques subtropicales de la Selva Misionera, Argentina.Revista Ciencias Florestais, ISSN 0103-9954.
- MAC DONAGH, P.; NÚÑEZ, P.; BULFE, N.; RIVERO, L.; BARQUINERO, J.C.; TOMA, T. 2005. Contribution to the planning of reduced impact harvesting with the help of geographic information systems in the Biosphere Reserve of Yabotí, Misiones, Argentina. Session D3. General posters: Forest operations. IUFRO World Congress, Australia.

- MALINOVSKI R. J. 1983. IV Curso de Actualización sobre sistemas de Exploración e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. Metodología do Custo – Hora para máquinas Florestais. pp. 57-70
- MINISTERIO DE ECOLOGÍA, RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y TURISMO DE LA PROVINCIA DE MISIONES. 2009. Hacia un diálogo de saberes. Encuentro entre colonias rurales, pueblos originarios y Reserva de Biosfera de Yabotí. Departamento San Pedro.
- PUTZ, F.E.; SIST, P.; FREDERICKSEN, T.; DYKSTRA, D. 2008. Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 256;1427–1433
- SOSA, G. C. 2007. Evolución de Costos y Precios de Productos de *Pinus sp.* de la zona norte de Misiones entre 2000-2005. Integradora II.
- VENEGAS, G; LOUMAN, B.2001. Aprovechamiento con tratamiento silvicultural de impacto reducido en un bosque montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 325. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales No. 23. 55 p.
- WWF. WWFolio Bolivia. WWF EN BOLIVIA 1993-2008. Edición especial 15 años.2009. N° 16. pp. 13.

Páginas Web

- SECRETARIA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN. <http://www.energia3.mecon.gov.ar>. Fecha de consulta 10/09/2010.
- INDEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <http://www.indec.gov.ar> Fecha de consulta 10/09/2010.
- BCRA. BANCO CENTRAL DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. <http://www.bcra.gov.ar>. Fecha de consulta 11/09/2010.
- COIFORM - Colegio de Ingenieros Forestales de Misiones. <http://www.coiform.nearural.com.ar> Fecha de consulta 11/09/2010.
- BOLETÍN OFICIAL DE LA REPUBLICA ARGENTINA. <http://www.boletinoficial.gov.ar>
- SECRETARIA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE NACIÓN. <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=2843>

¿CUÁNTO CUESTA FORESTAR CON ALGARROBO BLANCO (*Prosopis alba*) EN SANTIAGO DEL ESTERO?

HOW MUCH REFOREST WITH PROSOPIS ALBA IN SANTIAGO DEL ESTERO?

Coronel de Renolfi, M.¹; Cardona, G.¹ y Bissio, M.²

¹ Ingenieras Forestales. Docentes de la Cátedra de Economía y Administración Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912 (4200) Santiago del Estero. E-mail: mrenolfi@unse.edu.ar

² Ingeniera Forestal. Docente del Curso de Economía y Legislación Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

Resumen

Si bien en algunos lugares de Argentina existen estudios de tiempos operativos, rendimientos y costos de diversas actividades forestales, en Santiago del Estero hay un vacío de información al respecto, dado que la provincia no tiene aún amplia tradición forestadora. El presente trabajo consistió en medir los tiempos de trabajo en las labores silvícolas efectuadas por pequeños productores de la zona de riego de Santiago del Estero que llevaron a cabo plantaciones forestales con algarrobo blanco (*Prosopis alba*). El objetivo fue estimar, en condiciones reales, los tiempos operativos, rendimientos y costos de las operaciones manuales y mecanizadas de los dos primeros años de plantación de la especie. Si bien los tiempos operativos obtenidos son, en general, diferentes a los relevados en otras regiones del país, describen la realidad en la que desarrollan las actividades de forestación, los pequeños productores en la provincia. Al comparar los valores de costos obtenidos con el monto actual del subsidio que el Estado Nacional otorga a los forestadores de la zona, se observa que la subvención estatal alcanza a cubrir el 98,6% del costo de implantación de la especie.

Palabras clave: forestación, algarrobo blanco, tiempo operativo, costos.

Summary

In parts of Argentine are studies of operating times, yields and costs of various forestry activities. But in Santiago del Estero no information about. The objective of this paper is to estimate labor technical coefficients, productivity and costs of hand and mechanized works during forest plantations. Analysed and timed works correspond with the first and second years of plantation labors. This study sample was formed by selection of small owners of forestlands in the irrigation area in Santiago del Estero province, who afforested their lands with *Prosopis alba*. It has been to point that despite this area operative times obtained are different than those obtained in others regions of Argentine, the authors consider that this operating times are good descriptors of the reality of the works of small planters in Santiago del Estero. Comparing the costs obtained with the value of state subsidies shows that this state subsidy covers 98.6% of the implantation cost of this species.

Key words: afforestation, *Prosopis alba*, operating time, costs

Introducción

Garantizar el éxito de las actividades forestales requiere, como en cualquier proceso productivo, que cada etapa se realice con la asignación óptima de los recursos y que las

diferentes operaciones de trabajo estén basadas en estándares de productividad, para que los costos disminuyan. El cálculo de costos exige disponer previamente de datos técnicos de tiempos operativos y rendimiento de dichas operaciones.

En Argentina existen algunos estudios de rendimientos y costos de implantación de especies forestales, tales como los siguientes: estructura del cálculo del costo forestal estándar (Gauto Acosta *et al.*, 1992), estudio de rendimientos y costos de reforestación en la provincia de Misiones (Kozarik, 1994), estructura de costos de implantación de eucaliptos (Vera *et al.*, 2004), cálculo de coeficientes técnicos de plantaciones forestales en Misiones y Corrientes (INTA, 2007; Colcombert, 2008), entre otros. Sin embargo, en la provincia de Santiago del Estero, poco se ha indagado acerca de tiempos operativos, rendimientos y costos forestales. La carencia de datos empíricos resultantes de estudios de tiempos y movimientos de las diferentes labores forestales ha conducido a utilizar coeficientes de rendimiento y de productividad de otras regiones, a la hora de calcular los costos locales de la forestación.

El presente trabajo tiene como objetivos medir, en condiciones reales, los tiempos operativos de las labores manuales y mecanizadas y estimar los costos de los dos primeros años de plantación de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero.

Materiales y Métodos

La muestra de estudio se extrajo del Registro 2008 de emprendimientos forestales de la Dirección de Forestación de la Provincia de Santiago del Estero. El listado consigna los planes presentados por pequeños productores (hasta 10 hectáreas) para efectuar plantaciones forestales durante el año 2009 en diferentes localidades de la provincia, en el marco de la Ley 25080 (Ley 25080, 1999). Con un diseño de muestreo intencional, dicha muestra fue conformada seleccionando los casos bajo el doble criterio de la cercanía geográfica de la plantación y la aceptación de los productores a involucrarse con el estudio. Fueron escogidos tres productores que presentaron planes para implantar algarrobo blanco.

La toma de datos se realizó con la técnica de observación directa (Lohr, 2000; Scheaffer *et al.*, 1987), midiendo *in situ* los tiempos de trabajo (Fonseca, 2002; Niebel *et al.*, 2001) y las superficies de las operaciones efectuadas. Asimismo, y con el fin de verificar la congruencia entre los datos de su propia experiencia laboral con los tiempos registrados a campo, se realizaron entrevistas a informantes calificados del sector, dado que, según Frank (1977) es frecuente que los tiempos operativos sean cronometrados, pero también se puede hallar sus valores mediante encuestas a productores y técnicos.

Los datos provienen de las siguientes fuentes: a) observación directa, a tres pequeños productores del área de riego del Río Dulce de la provincia que forestaron con algarrobo en Colonia El Simbolar (Dpto. Banda) con 4,1 has, Zanjón (Dpto. Capital) con 10 has y Nueva Francia (Dpto. Silípica) con 5,6 has y b) entrevistas, a dos productores del sector agropecuario que efectúan y ofrecen el servicio de laboreo de suelos en la zona. El perfil modal del trabajo de plantación está definido con una densidad de 625 plantas/ha, un nivel técnico de labores de grado mixto y un jornal de trabajo de 8 horas/día.

Los datos relevados corresponden a las operaciones de los dos primeros años de implantación de la especie: preparación del suelo (rastreada, sistematización de riego y riego); plantación (marcación y hoyado, distribución de plantas y plantación propiamente dicha) y cuidados culturales (carpida, desmalezado químico, aplicación de insecticida y poda).

La medición de los tiempos de trabajo se realizó con cronómetro de precisión de medición continua; la medición de la superficie trabajada, con GPS. Para cada tarea a medir se procedió según Niebel *et al.* (2001) y Brenes Bonilla (2004). Para cronometrar y determinar los tiempos operativos de las diferentes labores se debió seleccionar una por vez y efectuar la toma del tiempo a distintos operarios que realizan la tarea con movimientos

repetitivos. El cronometraje se realizó en forma aleatoria, en varios momentos de la jornada laboral y a diferentes operarios, a fin de recoger las variaciones en el rendimiento de trabajo. El número de observaciones a cada operario fue de 15 mediciones continuas por vez, con 5 repeticiones durante la jornada, con excepción de las labores sin movimientos repetitivos como la rastreada y el riego.

Se entiende por tiempo operativo al tiempo insumido por cada unidad producida. El tiempo operativo es el tiempo en el lugar de trabajo y se distribuye entre preparación para el trabajo (carga y descarga de productos), detenciones durante el trabajo (ajustes, averías, esperas, descanso), trabajo en vacío, en el caso de máquinas y tiempo efectivo. Por lo tanto, el tiempo efectivo es sólo una parte del tiempo operativo. La relación por cociente entre ambos valores es el coeficiente de tiempo efectivo "r" (Frank, 1977).

Las mediciones efectuadas permitieron obtener los tiempos de trabajo (en hora o jornal por unidad de superficie), con la diferenciación de los tiempos efectivos, los intervalos y los tiempos operativos, especialmente en las operaciones manuales, donde las pérdidas de tiempo por fatiga, demoras y retrasos son más frecuentes. Para calcular el costo de forestación se listaron en una planilla, los costos directos e indirectos referidos a la unidad de superficie (en pesos/ha) de cada una de las tareas efectuadas cada año en función del uso de maquinaria, mano de obra e insumos requeridos para su ejecución (Gauto Acosta *et al.*, 1992; Frank, 1977). Los costos indirectos corresponden a los gastos de administración y dirección técnica.

Resultados y Discusión

Coefficientes técnicos de trabajo

La provincia de Santiago del Estero aún no tiene amplia tradición forestadora en comparación con otras zonas del país, por lo tanto, los operarios no poseen el entrenamiento suficiente para realizar tareas silvícolas en comparación con las agropecuarias. No obstante hay labores que son habituales, con independencia que se trate de actividades forestales o agrícolas. Es el caso de aquéllas referidas a la preparación del suelo y el desmalezado, de modo que era esperable que los respectivos tiempos de trabajo no sean demasiado diferentes a los correspondientes a la actividad agraria. Los resultados del cálculo de los coeficientes técnicos en función de las labores manuales y mecanizadas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Tiempos operativos (en h/ha) y coeficiente efectivo "r" de las tareas
Table 1: Operating time (in h/ha) and the effective coefficient "r" of works

Tareas	Tipo de tarea	T. Operativo	r
Rastreada	mecanizada	1,10	0,90
Sistematización	mecanizada	1,10	0,62
Riegos	manual	7,73	---
Marcación y hoyado	manual	9,03	0,86
Distribución plantas	manual	1,83	0,48
Plantación	manual	7,89	0,78
Carpida	manual	10,31	0,47
Aplicación herbicida 1	manual c/mochila	0,97	0,61
Desmalezado 1	manual (motoguadaña c/tanza)	5,94	0,72
Control hormigas	manual	2,50	0,38
Aplicación herbicida 2	manual (motopulverizadora)	0,42	1
Desmalezado 2	manual (motoguadaña c/disco)	6,85	0,71
Aplicación insecticida	manual c/mochila	1,43	0,88
Poda	manual c/tijeras	2,77	1

Según la Tabla 1 los tiempos operativos registrados para la rastreada y la sistematización de riego no difieren mayormente de los consignados para actividades agrícolas de la zona de estudio y para actividades forestales de otras zonas del país (Colcombert, 2008; Gauto Acosta *et al.*, 1992). El coeficiente r de la sistematización del riego con bordeador es de 0,62 lo que significa que sólo el 62% del tiempo total de trabajo es efectivo. Al respecto Frank (1977) advierte que, a igualdad de condiciones, el coeficiente r tiende a ser menor cuando se trabaja en fajas o en condiciones deficientes del suelo. También es esperable que dicho coeficiente sea menor en parcelas irregulares o pequeñas que en parcelas regulares o grandes.

El tiempo operativo del riego no es comparable con otras zonas, pero contrastando el valor obtenido de 7,73 h/ha (0,97 jor/ha) con la información de contratistas de la zona de riego de la provincia, se concluye que son valores acertados y realistas.

La modalidad local de realizar la marcación y el hoyado en simultáneo no permite comparaciones con los tiempos de trabajo de otras zonas. En SAGPyA (2009) se consigna la marcación-hoyado-plantación con un total de 3,5 jor/ha. Si en la Tabla 1 se suman los tiempos cronometrados de marcación-hoyado y de plantación, se obtiene un valor de 16,92 h/ha (2,12 jor/ha), lo que estaría revelando un tiempo operativo menor.

La tarea de plantación fue llevada a cabo con buen ritmo, con operarios capacitados y con una prolija organización, dando como resultado un tiempo operativo real de casi 1 jor/ha y una efectividad de cerca del 80%. Otros autores (Gauto Acosta *et al.*, 1992) registran tiempos de trabajo que varían entre un mínimo de 0,75 y un máximo de 4 jor/ha para otras especies en iguales condiciones de desarrollo de la labor.

La distribución manual de los plantines en las líneas arroja un tiempo operativo de 1,83 h/ha del cual, sólo la mitad se convierte en trabajo efectivo. La labor fue ejecutada con muchas pérdidas de tiempo en cuanto a la organización de la misma.

La labor de carpida o desmalezado manual demanda 1,29 jor/ha y registra suficientes pérdidas de tiempo como para que el coeficiente r sea 0,47. Con fines comparativos se puede señalar que en otras zonas del país se registran tiempos operativos de 2 jornales para eucalipto, 3 jornales para pino y 4 jornales para álamos y sauces por unidad de superficie. En realidad se trata de una tarea con tiempos de trabajo muy variables en función del grado de limpieza que requiera el predio.

Otras de las operaciones silvícolas efectuadas fueron la aplicación manual con mochila de herbicida y de insecticida, cuya efectividad es del 61 y 88 % respectivamente. En otras publicaciones no se menciona la realización de estas tareas en plantaciones forestales, razón por la cual no es posible comparar con los coeficientes técnicos obtenidos. Tampoco se consignan las dos modalidades de desmalezado con motoguadaña, cuyos tiempos operativos y efectividades de trabajo no exhibieron diferencias significativas.

El control de hormigas requiere entre 0,5 y 1 jor/ha en forestaciones de algunas regiones (SAGPyA, 2009) y hasta 3 jor/ha para plantaciones de eucalipto en ciertas zonas de Corrientes (Gauto Acosta *et al.*, 1992), mientras que el valor registrado de 0,31 jor/ha resulta bastante bajo al igual que el coeficiente efectivo. No obstante, es un tiempo de trabajo muy variable que depende del grado de ataque del terreno.

Finalmente, entre los cuidados culturales del segundo año, se registra una poda de limpieza con un tiempo operativo muy bajo de 2,77 h/ha (0,35 jor/ha) si se compara con otros sitios y especies, donde se señalan requerimientos entre 2 y 3 jor/ha, pero referidos a tareas de poda de conducción (SAGPyA, 2009; INTA, 2007; Vera *et al.*, 2004; Gauto Acosta *et al.*, 1992).

En relación al coeficiente r cabe recordar que toma un valor máximo de 1 y disminuye a medida que se incrementan las pérdidas de tiempo (Frank, 1977). Según la Tabla 1, las

tareas con los valores más bajos son el control de hormigas, carpida y distribución de plantines, lo que estaría indicando demasiadas detenciones en la ejecución de dichas labores.

Costo de la forestación

Con los datos de los tiempos operativos medidos a campo, la información de precios actualizados de insumos (combustible, jornales, plantines, agroquímicos, etc.) y los resultados del cálculo del costo horario de la maquinaria utilizada (Frank, 1977), se procedió a estimar los costos de forestación.

Los resultados del costo de implantación del primer año y el costo de mantenimiento del segundo año se presentan en la Tabla 2, discriminados por rubros (maquinaria, mano de obra e insumos). Los valores monetarios están expresados en moneda corriente de febrero de 2011. Los precios de la mano de obra se ajustan a las normas salariales de la CNTA de septiembre de 2010 e incluyen las cargas sociales (60% del sueldo básico). Los valores de los insumos no incluyen el IVA.

Tabla 2: Costo de forestación con algarrobo blanco (en \$/ha)
Table 2: Afforestation cost with Prosopis alba (in \$/ha)

Tareas	Costo Maquinaria	Costo Mano Obra	Costo Insumos	Costo Total
AÑO 1: Implantación				
Rastreada	113,28	21,93		135,21
Sistematización	87,98	22,02		110,00
Riegos (4)		901,65	28,00	929,65
Marcación y hoyado		166,67		166,67
Distribución plantas		33,82		33,82
Plantación		145,51	1.000,00	1.145,51
Reposición de fallas (10%)		14,55	100,00	114,55
Carpida		190,25		190,25
Desmalezado 1	47,19	109,60		156,79
Aplicación herbicida 1 (mochila)		17,84	10,96	28,80
Control hormigas		46,07	38,00	84,07
Costos indirectos (15%)				464,30
Costo Año 1				3.559,62
AÑO 2: Mantenimiento				
Carpida		190,25		190,25
Aplicación insecticida		26,28	81,90	108,19
Desmalezado 2	54,43	126,43		180,86
Aplicación herbicida 2 (pulverizada)	4,58	7,65		12,24
Control hormigas		46,07	38,00	84,07
Poda		51,00		51,00
Riegos (4)		570,04	28,00	598,04
Costos indirectos (15%)				183,70
Costo Año 2				1.408,35
Costo Total				4.967,97

De la Tabla 2 se deduce que el costo de implantación de la especie asciende a 3.559,62 \$/ha y el costo de mantenimiento del segundo año es de 1.408,35 \$/ha. En el primer año, la participación porcentual del costo directo (3.095,32 \$/ha) por tareas globales (preparación del terreno, riegos, plantación y mantenimiento) es la que muestra el Gráfico 1, donde se destaca la incidencia de los costos de las labores de plantación y de riegos.

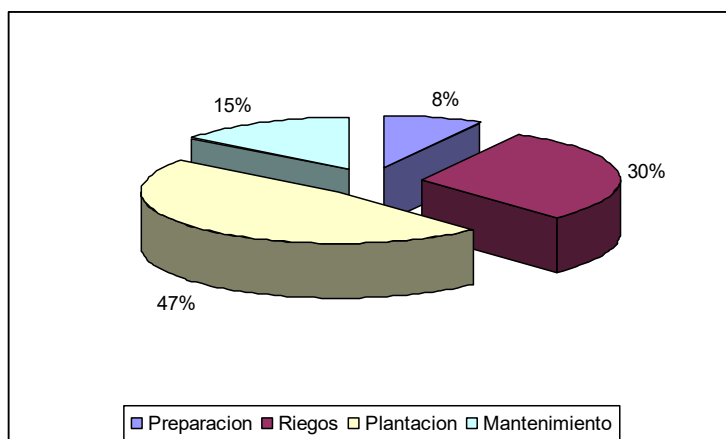


Grafico 1: Costo directo de implantación de algarrobo. Participación porcentual por tareas

Chart 1: Direct cost of implementation of Prosopis alba. Percentage share by works

El total de costo directo de los dos primeros años es de 4.319,97 \$/ha (3.095,32 + 1.224,65). La contribución por rubros (maquinaria, mano de obra e insumos) de dicho costo directo se presenta en el Gráfico 2, donde se observa el predominio de los costos en concepto de pago de la mano de obra.

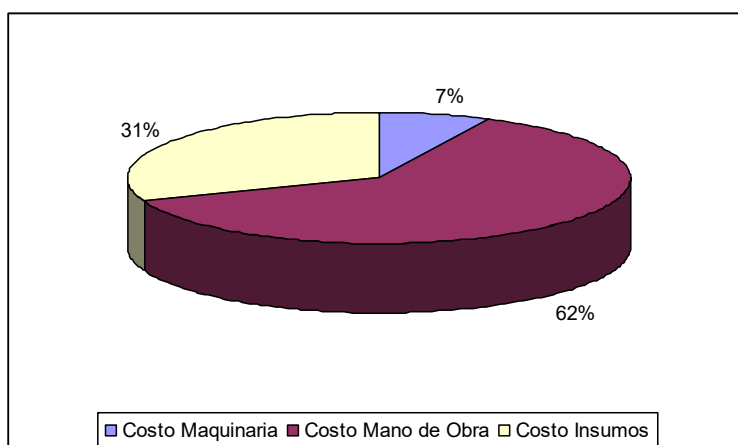


Gráfico 2: Costo directo total (Años 1 y 2). Participación porcentual por rubros

Chart 2: Total direct costs (Years 1 and 2). Percentage share by object

En el marco de los beneficios económicos de la Ley de Inversiones para Bosques Cultivados (Ley 25080, 1999), un productor puede presentar su plan de forestación y solicitar el subsidio respectivo ante la autoridad de aplicación de la ley. Dicho subsidio consiste en un reintegro económico a plantación lograda, cuyo monto varían según zona, especie y densidad de plantación. Para la zona de riego de Santiago del Estero, el monto actual es de 3.511 \$/ha (SAGPyA, Resolución N° 76/11) cuando se trata de algarrobo con una densidad de 600 plantas/ha. Si se compara el valor de la subvención con el costo de implantación (directo e indirecto) calculado para el primer año, se observa que el reintegro estatal alcanza a cubrir el 98,6% de dicho costo.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten arribar a las siguientes conclusiones:

- Las labores manuales que demandan más horas de trabajo por ha y, consecuentemente, gravitarán en los costos operativos de la mano de obra son, en orden decreciente la carpida, la marcación y apertura de hoyos, la plantación, el riego y las limpiezas con motoguadaña.
- Las tareas mecanizadas de rastreada y sistematización de riego exhiben tiempos operativos con valores previsibles, debido a que son labores de realización habitual en el sector agrícola de la provincia.
- Las tareas que presentan coeficientes de efectividad más bajos son el control de hormigas, carpida y distribución de plantines, por lo que habría que poner énfasis en descartar tiempos improductivos con miras a la reducción de costos.
- Si bien los tiempos operativos obtenidos son, en general, diferentes a los relevados en otras regiones del país, describen la realidad en la que los pequeños productores de la provincia desarrollan las actividades de forestación.
- El costo de implantación de la plantación puede ser recuperado casi en su totalidad con el monto del subsidio que el Estado Nacional otorga como incentivo a la forestación a los productores locales.

Bibliografía

- Brenes Bonilla, J. 2004. "Determinación de costos y rendimientos del proceso productivo en un vivero forestal de teca en la provincia de Chiriquí, Panamá". Tesis Bachiller. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Chiriquí, Panamá.
- Colcombert, L. 2008. "Coeficientes técnicos para lograr plantaciones y podas forestales en Misiones y Noreste de Corrientes". XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNAM. INTA EEA Montecarlo. Misiones.
- Fonseca, E. 2002. "Estudio de tiempos". <http://www.monografias.com/trabajos10/folle2.shtml>
- Frank, R. 1977. "Costos y administración de la maquinaria agrícola". Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires.
- Gauto Acosta, C.; H. Gomis; J. Jiménez y J. Scarpa. 1992. "Costos de producción forestal estándar". AFoA. Asociación Forestal Argentina. Buenos Aires.
- INTA. 2007. "Coeficientes técnicos de plantaciones forestales en la provincia de Misiones". INTA EEA Montecarlo. Misiones.
- Kozarik, J. 1994. "Estudio de rendimientos y costos en reforestación y explotación forestales para Misiones". Serie Técnica N° 4. Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. UNAM. Misiones.
- Ley Nacional N° 25080. 1999. "Ley de inversiones para bosques cultivados". Texto legal. Argentina.
- Lohr, S. 2000. "Muestreo. Diseño y análisis". Internacional Thomson Editores. México.
- Niebel, B y A. Freivalds. 2001. "Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo". 10ª edición. Alfaomega Grupo Editor. México.
- SAGPyA. 2009. "Costos de forestación en Argentina". Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Dirección de Forestación. Área de Economía e Información. Boletín de difusión.
- Scheaffer, R.; W. Mendenhall y L. Ott. 1987. "Elementos de muestreo". Grupo Editorial Iberoamérica. México, DF.
- Vera L. y F. Larroca. 2004. "Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el nordeste de Entre Ríos". INTA EEA Concordia. Entre Ríos.

RENDIMIENTO Y VALOR BRUTO EN EL ASERRADO DE ÁRBOLES *PINUS TAEDA* L. BAJO MANEJO SILVOPASTORIL: ESTUDIO DE CASO.

YIELD AND GROSS VALUE OF SAWNTIMBER OF *PINUS TAEDA* L. TREES UNDER SILVOPASTORAL MANAGEMET: STUDY CASE.

Fassola H.E.¹; Videla D.²; Keller A.E.¹; Crechi E. H.¹; Winck R. A.¹; Barth S. R.¹; De Coulon E.³

1. Investigadores INTA EEA Montecarlo. Av. El Libertdor 2472. 3384. Montecarlo. Misiones. hfassola@montecarlo.inta.gov.ar

2. Fac. de cs. Ftales. UNaM. Bertoni 125. 3380. Eldorado. Misiones. dangalaret@hotmail.com

3. Ing. de Coulon. Av. Paraná 601. Jardín América. Misiones. eduardodecoulon@ingdecoulon.com.ar

Resumen

En un rodal de *Pinus taeda* bajo manejo silvopastoril a los 11 y 15 años se apearon ejemplares para someterlos a estudios de rendimiento en el aserrado y valorar su producción. La madera aserrada de los rollizos fue tipificada bajo normas de remanufactura de puertas y ventanas y se les asignó valores relativos en función de escalas de precios de coníferas vigentes en el mercado de EEUU para esos grados. Por medio de modelos lineales generalizados se relacionó la producción y el valor de la misma por árbol con variables como el dap y la edad. Estos modelos fueron aplicados a los inventarios realizados en el rodal y se pudo constatar que con el incremento del tamaño del árbol se mejoraron los rendimientos en el aserrado y aumentó el valor de la producción aserrada.

Palabras clave: valor bruto de la producción aserrada, sistemas silvopastoriles, *Pinus taeda* L.

Summary

In a stand of *Pinus taeda* under silvopastoral management at 11 and 15 years old trees were felled for making sawing studies and estimated its production gross value. The timber was graded using Factory rules y each piece of lumber received a relative price obtained from market prices from the EEUU markets for conifers. Using generalized lineal models (GML) it was established a relationship between sawn timber production and gross value of the tree with variables like dbh and age. Those models were applied to the stand forest inventory and it was possible to determine that with increment in tree size, sawn timber yield was higher and also the gross value increased.

Key words: gross value of sawn timber production, silvopastoral systems, *Pinus taeda* L.

Introducción y Antecedentes

Es deseable incluir en los modelos de crecimiento y producción destinados a la evaluación económica de las prácticas de gestión una indicación de la calidad de la madera, de cómo se ve afectada por factores genéticos y ambientales y por el manejo silvícola. En el sector forestal, la comprensión del desarrollo y la variación de la calidad de la madera es importante en distintos programas de gestión y planificación que se pueden clasificar en (1) la gestión de las operaciones de cosecha, y (2) la planificación silvícola a largo plazo (Mäkelä *et al.*, 2010).

En ese sentido se puede mencionar los trabajos de Whiteside I.D. (1982) sobre pronóstico de los valores brutos de trozos aserrables de *Pinus radiata* D. Don y clasificaciones de la madera en bruto a partir de variables de los trozos, que junto a otros trabajos sirvió para desarrollar el sistema silvicultural SIILMOD (actualmente Stand Pack) en Nueva Zelanda (Forest Research Institute, 1981), que tenía una fuerte orientación al producto. Más recientemente Meneses (2006), en Chile, como también Kantola *et al.* (2009) en Finlandia han desarrollado sistemas orientados a analizar la calidad de la madera a obtener bajo distintos regímenes silvícolas.

En Argentina se realizaron algunos trabajos considerando las propiedades internas de rollizos podados de *Pinus taeda* (Fassola *et al.* (2002), aunque la generación de una base de datos tendiente a poder predecir valores brutos y por grados de calidad de madera aserrada se encuentra en proceso de construcción. Se puede mencionar algunos estudios iniciales sobre los rendimientos en el aserrado bajo distintos regímenes silvícolas analizados bajo normas Factory y de apariencia (Fassola *et al.*, 2007). Dado que los sistemas silvopastoriles se han difundido rápidamente entre productores medianos y pequeños de Misiones, alcanzando un 10 % de la superficie forestada, analizar la calidad de la madera a obtener de ellos es un tema relevante. Asumiendo que estos sistemas generan una alta proporción de rollizos y madera de calidad y que, a partir de la oclusión de la herida de poda, el valor de la producción bruta en el aserrado (VBA) se incrementa, se procedió a analizar rollizos cosechados a los 11 y 15 años de edad de un rodal de *P. taeda* manejado bajo esa prescripción silvícola para determinar el rendimiento bruto y el VBA de los árboles y del rodal.

Material y Métodos

El rodal 1 de la empresa Tabay SA, 26° 58.81' y 55° 13.44', establecido sobre suelos de tipo Kandiuultes fue implantado con *Pinus taeda* en el año 1996. El clima del área según la clasificación de Köppen es de tipo Cfa, macrotérmico, constantemente húmedo y subtropical (Rodríguez *et al.*, 2004). La precipitación media durante el período 1981-1990, fue de 1947 mm en Posadas, ciudad localizada al sur del área considerada. La temperatura media anual fue en el mismo período de 21,5 °C (Servicio Meteorológico Nacional, 2008).

Sobre esta plantación se implementó un sistema silvopastoril. Esto implicó un régimen de podas y raleos intensivos que llevó a alcanzar, a los 7 años de edad, una altura de poda entre 8-8,5 y dejando en pie 373 plantas/ha luego de raleos perdidos y uno comercial. A los 3 años se implantó “pasto jesuita gigante”. A las podas forestales se las puede calificar como primavero-estivales debido a que, en general, fueron a *posteriori* de la época de cosecha de yerba, que va desde marzo a inicios de primavera. La herramienta empleada fue la tijera electrónica marca “Electrocoup” y el operario realizó la tarea empleando escalera a partir del 2^{do} realce de poda, de manera de trabajar cerca de la rama (Apud y Valdéz, 1993; Fassola, 2001)

A los 7 años de edad se estableció un sistema de inventario permanente que permitió evaluar la evolución del recurso y su respuesta al manejo silvícola. Para ello se establecieron parcelas donde anualmente se midieron diámetros a 1,3 m (dap), altura total (h) y altura en la base de copa verde (hbcv) de todos los individuos y se construyó una relación hipsométrica empleando el modelo de Curtis modificado (Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento, 1999). Los volúmenes con y sin corteza (Vcc y Vsc) fueron estimados empleando las ecuaciones 1 y 2 (Fassola *et al.* 2007).

Ecuación (1):

$\ln(vcc) = (-8,70837 - 1,92414 \cdot \ln(dap) + 0,00823 \cdot \ln^2(dap) + 0,18622 \cdot \ln^2(h)) \cdot 1,0049507$
 donde vcc: volumen con corteza

Ecuación (2):

$\ln(vsc) = (-8,65298 + 1,63191 \cdot \ln(dap) + 0,05478 \cdot \ln^2(dap) + 0,21421 \cdot \ln^2(h)) \cdot 1,0044256$
donde vsc: volumen sin corteza

A los 11 y 15 años de edad, a los fines de determinar rendimientos en el aserrado, los árboles fueron ordenados de acuerdo con su diámetro y divididos en tres clases: “pequeños”, “medianos” y “grandes” (Köhl *et al.*, 2006). De cada clase igual número de árboles fue seleccionado al azar; a los 11 años 3 ejemplares por clase y a los 15 años de edad, 2 por cada una. Estos árboles fueron trozados en largos comerciales, priorizando trozas de 3,5 a los 11 años de edad y de 2,5 m a los 15 años. En las trozas se determinaron longitudes, diámetros con y sin corteza en ambos extremos y flecha. El volumen con y sin corteza de los mismos fue estimado mediante la fórmula de Smalian. Estos rollizos, tanto los podados como los no podados, si el diámetro era superior a 25 cm en punta delgada, fueron aserrados mediante sierras de banda, siguiendo un patrón de corte de tipo “split taper” tendiente a “pelar el rollizo” (fig.1), obteniéndose tablas de 1” de espesor y la baza central fue aserrada en la misma dimensión recurriendo a sierras múltiples. En el caso de los diámetros inferiores los rollos fueron pasados por una sierra múltiple.

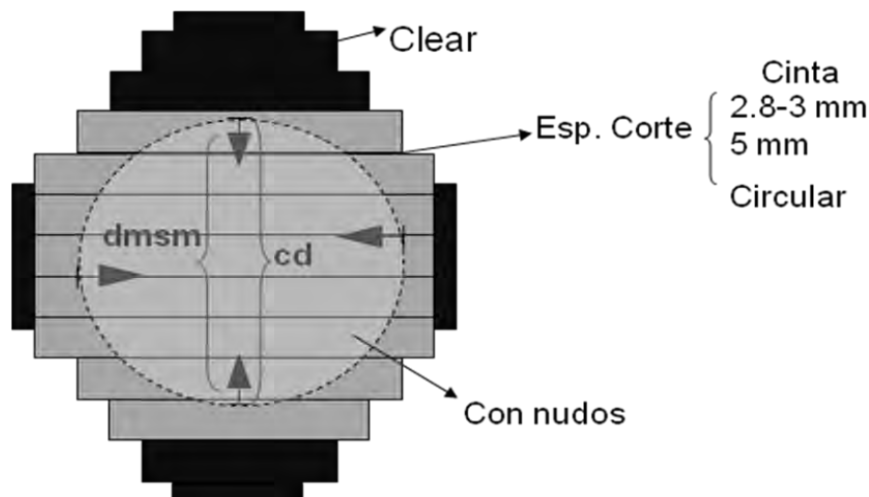


Figura 1: Patrón de corte para rollizos podados y no podados mayores a 25 cm dmsm (dmsm: diámetro máximo sobre muñón. cd: cilindro que contiene los defectos).

Figure 1. Sawing pattern of logs, pruned and unpruned, with s.e.d. > 25 cm. (dmsm: diameter over stubs; cd: defect core)

Una vez aserrados los rollizos se procedió a tipificar las tablas obtenidas mediante la norma Factory empleada por el aserradero de Alto Paraná SA (Britez, 2007). Dicha tipificación fue efectuada por un experto independiente al estudio. Una vez tipificadas se estableció la participación por grados de calidad y se asignó un valor en pesos relativos estimados en base a valores de mercado de octubre de 2011 para *P. radiata* “S2S MOULDING AND SHOP” y en el caso del grado P99 se tomó los precios de *P. ponderosa* (Cubbage com. personal, 2012), ya que no se cuenta con una escala para *P. taeda* bajo esa norma en EEUU (Tabla 1).

Tabla 1: Escala relativa de precios en grado calidad Factory**Table 1: Factory Grade relative prices**

Base: USS Radiata Pine 6/4; P99= P. ponderosa 6/4; sobre muelle costa oeste EEUU

	MLD&BTR rough	Shop1	Shop2	Shop3	P99
\$/m ³	100	77	64	54	28

Asignados los valores por tabla, se obtuvo el valor del total de piezas por árbol. Mediante regresión se ajustaron modelos a los fines de estimar rendimiento bruto en el aserrado (RBA) y el valor de la producción bruta en el aserrado (VBA) de la producción en relación a variables del árbol a los 11 y 15 años de edad, empleándose como variable categórica la edad, para estimar luego los valores a nivel rodal en base a los resultados del inventario.

Resultados y Discusión

Estado forestal del rodal de *Pinus taeda*

Con los pares dap-h de los sucesivos inventarios hasta los 15 años, se construyó un modelo, ecuación 3, que permitió estimar las alturas y estimar los volúmenes con las ecuaciones 1 y 2.

Ecuación (3): $\ln(h) = 1,16054 - 0,140872 \cdot \ln(1/dap) - 0,62992 \cdot \ln(1/edad) -$

$0,000222523 \cdot (dap \cdot edad)$

R^2 (aj. para g.l.) = 55,4618 %; EEE= 0,0452075

En la Tabla 2 se presenta el resultado de los sucesivos inventarios realizados a partir del año 7. En la misma se observa que prácticamente hubo un incremento de 10 cm en el DAP promedio del rodal a consecuencia de los raleos practicados en los años 9, 11 y 14.

Tabla 2: Estado forestal del rodal 1 de *Pinus taeda* entre los 7 y 15 años de edad**Table2: Forest inventory of stand 1 of *Pinus taeda* between 7 and 15 years old**

edad años	árboles núm/ha	DAP cm	H m	Hdom m	Hbcv m	G m ² /ha	Lcv km/ha	ejemplares por categoría diamétrica								
								18-20cm	20-25 cm	25-30 cm	30-35 cm	35-40 cm	40-45 cm	45-50 cm	50-55 cm	55-60 cm
7	373	25,9	15,0		7,8	19,9	2,7	13	187	120	53	0	0	0	0	0
8	333	28,1	17,0		7,9	20,7	3,0	13	40	200	67	13	0	0	0	0
9	333	30,9	18,7		8,2	24,9	3,5	0	13	160	107	53	0	0	0	0
	106	26,2	18,7													
10	227	32,6	19,7		8,7	19,2	2,5	0	0	80	80	53	13	0	0	0
11	227	35,6	22,0	23,2	8,9	22,5	2,9	0	0		107	93	27	0	0	0
	58	31,3	18,8													
12	170	37,4	23,1		8,9	20,0	2,7	0	0	0	50	77	39	4	0	0
13	170	38,6	23,8		9,0	21,5	2,8	0	0	0	30	77	52	10	0	0
14	170	40,6	25,0		10,0	23,6	4,6	0	0	0	0	40	67	53	9	0
	49	39,3	22,3													
15	121	45,3	25,8	25,8	11,0	19,5	4,3	0	0	0	0	30	23	45	15	8

Esta modificación en la distribución afectó consecuentemente los volúmenes por categoría diamétrica (Fig. 2), aunque los volúmenes en pie con y sin corteza (Vcc y Vsc) a los 11 y 15 años no exhibieron prácticamente diferencias en virtud de los raleos aplicados; 239 y 211 m³/ha a los 11 años y 249 y 229 m³/ha a los 15 años de edad

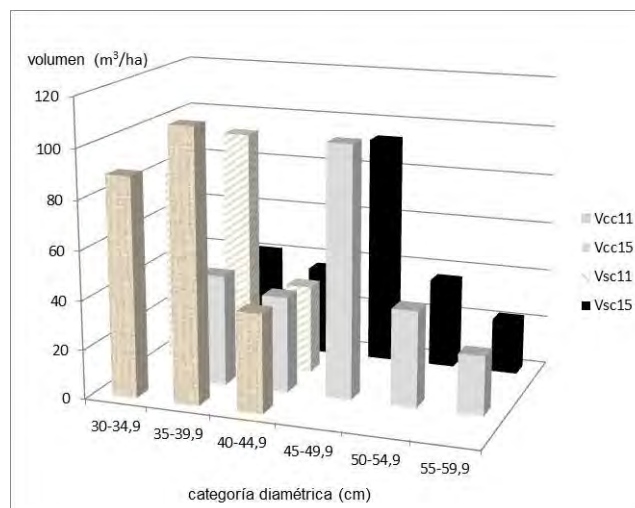


Figura 2: Distribución volumétrica en *Pinus taeda* a los 11 y 15 años por categoría diamétrica

Figure 2: Volume distribution of *Pinus taeda* at 11 and 15 years old by diameter category

Rendimiento en el aserrado de rollizos de *P. taeda* de 11 y 15 años de edad

En la Tabla 3 se presentan los valores promedio, desvío estándar, máximos y mínimos del dap y h de los ejemplares apeados y de los rendimientos porcentuales por grado de calidad Factory de la muestra de *Pinus taeda* a los 11 y 15 años de edad.

Tabla 3: Descripción de los ejemplares promedio apeados de *Pinus taeda* a los 11 y 15 años de edad y rendimiento porcentual de la muestra por grado de calidad Factory.

Table 3 Mean values of *Pinus taeda* trees felled at 11 and 15 years old and percentage of sawn timber obtained from the sample by Factory grade

edad	DAP	H	Desv. DAP	Desv. H	m&b	shop 1	shop2	shop3	finger	nc	total
años	cm	cm	cm	cm	%	%	%	%	%	%	%
11	33,8	20,6	6,2	0,6	25	12	12	23	14	15	100
15	45,7	24,15	7,2	0,4	31	8	17	34	8	2	100

En la tabla anterior se observa que a los 15 años aumentó la proporción del grado M&B, respecto a la de 11 años. Es probable que esto se deba a que la oclusión de las heridas de poda en las trozas por encima de los 2,50 m de altura en el árbol haya finalizado, dado el incremento diametral, ya que a los 11 años sólo estaba ocluida en 2 de los 9 ejemplares aserrados en esa oportunidad (Fassola *et al.*, 2007), aunque también puede influir la sinuosidad de la médula. Se observa también una disminución del grado Shop1 y un aumento de los grados Shop 2 y Shop 3, lo que sería atribuible a un incremento del tamaño de ramas por encima de las trozas podadas a consecuencia de la baja densidad del rodal. La disminución a los 15 años del porcentaje del grado P99 y significativamente el porcentaje de tablas que no clasifican bajo esa norma, puede ser atribuible a que proporcionalmente la incidencia de la médula y los tejidos que la rodean, es menor. En rodales de *P. taeda* manejados en forma intensiva para aserraderos también se verificó una disminución de P99 luego de los 11 años de edad (Fassola *et al.*, 2007)

Con las variables dap, h, RBA y VBA por árbol, se ajustaron Modelos Lineales Generalizados (GLM), empleando como variable categórica la edad. En la tabla 3 se presentan los estadísticos de los modelos seleccionados en ambos casos y las ecuaciones

correspondientes (ec. 4 y 5; Tabla 4). El ANOVA de ambos modelos fue altamente significativo. ($p < 0,001$).

$$\text{RBA (m}^3/\text{árbol)} = -0,312428 - 0,163955 * I1(1) + 0,0241789 * \text{dap (cm)} \quad (\text{ec. 4})$$

donde : $I1(1) = 1$ si edad=11, -1 si edad=15, 0 de lo contrario; RBA : rendimiento bruto en aserrado

$$\text{VBA (\$ relativos/árbol)} = 5,4181 - 21,4471 * I1(1) + 0,784892 * \text{dap (cm)} \quad (\text{ec. 5})$$

donde : $I1(1) = 1$ si edad=11, -1 si edad=15, 0 de lo contrario; VBA: valor bruto en el aserrado

Tabla 4: Estadísticos de los modelos de predicción de RBA y VBA de árboles de *Pinus taeda*

Table 4: Statistics of the prediction models of gross sawn timber production and gross values of the trees of *Pinus taeda*

	rendimiento bruto en tablas (RBA) m ³ /árbol	valor bruto en el aserrado (VBA) U\$S/árbol
R ² ajust. (%)	99,31	97,0677
error estándar del estimador	0,0290426	4,67349
error medio absoluto	0,0217824	3,43827

Rendimiento bruto en madera aserrada y su valor bruto por hectárea bajo norma Factory a las edades de 11 y 15 años.

Con las ecuaciones 4 y 5 se estimó el rendimiento bruto por hectárea de madera aserrada y su valor bruto a las edades de 11 y 15 años (Tabla 5). En la misma se observa que el incremento del valor bruto de la producción aserrada de los rodales en pie entre los 11 y 15 fue del 88 %.

Tabla 5: Rendimiento bruto en el aserrado y valor bruto de la madera aserrada del rodal 1 de *Pinus taeda* por hectárea a los 11 y 15 años.

Table 5: *Pinus taeda* sawn timber gross production and value from stand 1 at 11 and 15 years old.

cat. diam Cm	rend. bruto		valor bruto		diferencial U\$S /ha/periodo	incremento %
	rend bruto tabla 11 años m ³ /ha	valor bruto tabla 11 años \$rel. /ha	tabla 15 años m ³ /ha	valor bruto tabla 15 años U\$S/ha		
30-34,9	31	953				
35-39,9	40	1241	19	1077		
40-44,9	15	459	16	863		
45-49,9			38	1930		
50-54,9			14	686		
55-59,9			8	376		
Total	86	2652	94	4932	2280	86

Ese valor no incluye las extracciones realizadas en el raleo a los 14 años. Estimado el volumen extraído en el mismo, el rendimiento bruto en el aserrado y su valor empleando las ecuaciones 4 y 5 correspondientes a 15 años, se obtuvo los resultados que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Volúmenes con y sin corteza, RBA y VBA de la masa extraída por hectárea a los 14 años.

Table 5: Volume with and without bark, sawn gross production and gross value of the sawn timber of *Pinus taeda* thinned from stand 1 at 14 years old.

edad años	N árboles/ha	DAPq árboles/ha	H m	Vcc m3/ha	Vsc m3/ha	Vtabla m3/ha	valor bruto \$rel./ha
14	48	39,3	22,3	63	56	31	1486

Si a los valores de la masa en pie a los 15 años se incorporan los de la masa extraída por raleo a los 14 surge un fuerte incremento del diferencial en valor bruto, 142 %, respecto del valor bruto de la producción aserrada al año 11 (Tabla 6).

Tabla 6: Incremento del VBA en el período 11 años a 14-15 del rodal de *P. taeda* bajo manejo silvopastoril

Table 6: *Pinus taeda* sawn timber gross value increment from stand 1 during the period between 11 and 14-15 years old.

rend bruto tabla período m3/ha	valor bruto tabla período \$rel./ha	diferencial \$rel./ha /período	Incremento %
124	6418	3766	142

Este incremento en valor bruto, también se ve acompañado de un incremento en rendimientos en el aserrado, a los 11 años la relación entre el volumen total sin corteza/ha y el rendimiento bruto en el aserrado fue del 40 %, mientras que considerando los resultados estimados del raleo y la masa en pie a los 15 años ese porcentaje se elevó a 47 %. Esta mejora puede ser atribuible a los mayores diámetros empleados en el segundo trabajo de aserrado como también al patrón de trozado utilizado en este. Las trozas mayoritariamente fueron de 2,2 m de largo, mientras que en el primer trabajo de aserrado fueron mayoritariamente de 3,5 m de largo. Este 7 % de mejora en el rendimiento en el aserrado está subestimado, ya que se considera el volumen total del árbol, pero de cualquier modo no puede explicar por sí solo un incremento tan alto del valor bruto de la producción aserrada. Este está dado por el incremento volumétrico propio del rodal, 75 % en el período analizado incluyendo la masa extraída, como también por la presencia de una mayor proporción de M&B a los 15 años de edad. Esta mayor proporción hace que a volúmenes en pie prácticamente similares a los 11 y 15 años de edad, el valor bruto de la producción aserrada sea notoriamente mayor a los 15 años.

Conclusiones y Recomendaciones

Se alcanzaron buenos ajustes en la predicción del rendimiento bruto en el aserrado y del valor bruto de la producción aserrable del rodal de *Pinus taeda* analizado, pudiéndose emplear los modelos ajustados para estimar los valores por unidad de superficie. El caso analizado permitió determinar que el incremento en valor de la producción fue superior al del incremento volumétrico, pudiendo estimarse que en ello influyeron los mejores grados de calidad de madera. Se hace necesario incorporar más tratamientos a los fines de desarrollar modelos que permitan predecir el efecto de los mismos sobre los grados de calidad de madera a obtener y el valor que generan esos tratamientos a los fines de lograr una mejor planificación del uso de los recursos en el mediano y largo plazo.

Se hace necesario impulsar el desarrollo y empleo de normas de tipificación para los distintos usos que pueda tener la madera aserrada de *P. taeda*, como la de remanufactura empleada en este trabajo. Estas normas más allá de transparentar los contratos, facilitan los procesos de los fabricantes de puertas ventanas, muebles y otros componentes, pero también permitirían al productor captar parte de las ganancias que de otra manera quedan en manos del sector industrial.

Agradecimientos.

Se agradece al Sr. Néstor Britez la colaboración prestada, al Ing. Agr. E. De Coulon y su personal por el apoyo en los trabajos de campo y a los Sres. W. Bochert y R. Imamura por facilitar las instalaciones industriales de su propiedad para el aserrado y secado de la madera.

Bibliografía

- APUD E. Y VALDÉS S. 1993. "Ergonomía en el Sector Forestal Chileno". En : *Unasyuva* 44 n°:31-37. FAO. Roma
- BRITEZ N. 2007. Normas de tipificación aplicadas. Disponible en: Silvicultura de pinos y su relación con propiedades de los rollizos y los rendimientos industriales. Jornada de actualización técnica. Ed.: FASSOLA . E.; CRECHI E. H.; KELLER A. E. Boletín 62. INTA EEA Montecarlo. Pp21.
- FASSOLA H:E: 2001. Gestión de la calidad del proceso de trabajo de poda en una PYME de servicios forestales. Tesis de aprobación de maestría. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Misiones. PP 107
- FASSOLA H.; FAHLER J.; FERRERE P.; ALEGRANZA D.; BERNIO J.. 2002. Determinación del cilindro con defectos en rollizos podados de *Pinus taeda* L. y su relación con el rendimiento en madera libre de nudos. Revista de Investigaciones Agropecuarias 31(1):121-137.
- FASSOLA H. E.; CRECHI E. H.; KELLER A. E.; BARTH SARA; FERNANDEZ T. EZEQUIEL. 2007. "Funciones y Algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado" Región Mesopotámica *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis* Parcial para *Pinus taeda*. INFORME TÉCNICO N° 61. INTA EEA MONTECARLO. Pp 102
- FASSOLA H.; CRECHI E.; VIDELA D.; KELLER A.. 2010. Estudio preliminar del rendimiento del aserrado de rollizos de rodales de *Pinus taeda* L. con distintos regímenes silvícolas. Yvyraretá
- KANTOLA A. , SONG T. , USENIUS A. & HEIKKILÄ A. 2009. Simulated yield and quality distribution of sawn timber from final felling in a Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] stand with varying thinning regimes: A case study. Wood Material Science and Engineering. *Volume 4, Issue 3-4*: pages 87-97
- KÖHL M, MAGNUSSEN S. and MARCHETTI M. 2006. *Sampling Methods, Remote Sensing and GIS. Multiresource Forest Inventory*. Ed. Springer. Berlin. Heidelberg. Serie Tropical Forestry. Pp 17-69
- MÄKELÄ, J. C., GRACE, G., DECKMYN, KANTOLA AND CAMPIOLI M..2010. Simulating wood quality in forest management models. *Forest A.Systems* 2010 19(SI), 48-68
- MENESES M. 2006. Desarrollo de un sistema tecnológico industrial y silvícola para mejorar la competitividad en la producción de maderas aserradas clear (moulding & better, shop y remanufacturas) de pino radiata. Proyecto FONDEF D001159- Maderas clear. Disponible en: [http://www.conicyt.creativa/auditorio-3/road-show-maderas-clear-\(D001159\)-10-00.ppt#286.20](http://www.conicyt.creativa/auditorio-3/road-show-maderas-clear-(D001159)-10-00.ppt#286.20).CARACTERIZACION PATRIMONIO. Abril 2006.
- PROGRAMA COOPERATIVO SIMULADORES DE CRECIMIENTO. 1999. *Pinus taeda*. Version 2.0. Manual Técnico. E.E.A. Montecarlo y Empresas Forestales de Misiones y Noreste De Corrientes. Pp 19
- RODRIGUEZ M. E., CARDOZO A., RUIZ DÍAZ M., PRADO D. E. 2004. Los bosques nativos misioneros: estado actual de su conocimiento y perspectivas. Disponible en: *Ecología y Manejo de los bosques de Argentina*. Ed.: Arturi M., Frangi J., Goya J. EDULP. La Plata. P.p 3-33
- FOREST RESEARCH INSTITUTE (N.Z.). 1981. Radiata Pine Task Force Report. Production Forestry Division. Forest Research Institute. NZ.

WHITESIDE I.D. (1982) pronóstico de los valores brutos de trozos aserrables de Pino Radiata y clasificaciones de la madera en bruto a partir de variables de los trozos. FRFI Bulletin 4. Rotorua. 35p.

INFLUENCIA DO CUSTO DE OPORTUNIDADE E DO GRAU DE UTILIZAÇÃO DA TERRA NA RENTABILIDADE FLORESTAL: UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO ORIENTAL DO PARAGUAI

INFLUENCE OF THE OPPORTUNITY COST AND THE DEGREE OF LAND USE ON THE PROFITABILITY OF FORESTS: A CASE STUDY FOR THE EASTERN REGION OF PARAGUAY

Fernandez M. L. Q.¹; Folmann W. T.²; Hoeflich, V.³, Miranda, G.M.⁴

¹ Eng. Florestal e Mestranda em Economia Florestal, UFPR, Paraná, Brasil, lauraqbp@gmail.com.

² Eng. Florestal, Msc. e Doutorando em Economia Florestal, UFPR, Paraná, Brasil, willfoma1@yahoo.com.br.

³ Eng. Agrônomo, Dr., Depto. de Economia Rural e Extensão, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - vitor.ufpr@gmail.com

⁴ Eng. Florestal e Doutor em Ciência Florestais, UNICENTRO, Paraná, Brasil, gmiranda75@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do Custo de Oportunidade da Terra – COT e do Grau de Utilização da Terra – GUT, na rentabilidade da produção de *Eucalyptus* spp. Para a avaliação foram considerados três cenários: I) fluxo de caixa da produção florestal sem considerar a influência da terra, II) fluxo de caixa da produção florestal considerando o COT e III) fluxo de caixa da produção florestal, contemplando o COT e o GUT. Os indicadores utilizados foram o Valor Presente Líquido - VPL e a Taxa Interna de Retorno - TIR, considerando-se uma Taxa Mínima de Atratividade de 7,0% ao ano. Os resultados encontrados foram VPL de US\$ 2.906,53, US\$ 2.072,55 e US\$ 1.630,54 e TIR de 21,1%, 16,3% e 14,0%; para os cenários I, II e III, respectivamente. Vale ressaltar que a inclusão do valor da terra no fluxo de caixa representa uma alternativa para melhor se avaliar o econômico ao investimento florestal.

Palavras-chave: taxa mínima de atratividade, preço da terra, política florestal, economia florestal.

Summary

This paper had the purpose to evaluate the influence of the Opportunity Cost of Land - OCL and the Degree of Land Use - DLU at the profitability of *Eucalyptus* spp. production. For the evaluation three scenarios have been proposed I) cash flow of forestry production without considering the influence of the land, II) cash flow of forestry production, considering the OCL and III) cash flow of forestry production, considering the OCL and the DLU. The financial indicators used were the Net Present Value - NPV and the Internal Rate of Return - IRR, discounted at a Minimum Rate of Attractiveness of 7,0% per year. Was verified that the no contemplation of the land at the cash flow can give a false economic return at the forestry investment. The results were NPV of US\$ 2.906,53, US\$ 2.072,55 and US\$ 1.630,54 and IRR of 21,1%, 16,3% and 14,0%; for scenarios I, II and III respectively.

Key words: Minimum Rate of Attractiveness, Price of Land, Forest Policy, Forest Economics.

Introdução

A terra é o capital básico de qualquer produtor florestal. Segundo Silva *et al.* (2008) alguns autores, ignoram o custo da terra pelo fato de as terras florestais serem dedicadas à produção florestal contínua, e portanto sem usos alternativos.

Entre os custos envolvidos na produção florestal, estão aqueles cuja avaliação técnico-econômica é de grande importância, como é o caso do custo de oportunidade da terra, que nada mais é do que a remuneração periódica e perpétua do capital investido nesse recurso por parte do processo produtivo (Timofeiczky Junior *et al.*, 2007). Em outras palavras, é o retorno, que poderia ser obtido caso os investimentos em terra fossem aplicados em outra alternativa (SILVA *et al.*, 2008).

Outro fator importante estudado é o GUT, pois a área total não pode ser utilizada somente para o plantio, respeito o requisito legal, parte dessa superfície deve conter a Reserva Legal – RL e as Áreas de Preservação Permanente – APP, além de benfeitorias e locais impróprios para o plantio. Esse fator pode em algumas situações causar significativo impacto na viabilidade de um projeto florestal.

Para Berger *et al.* (2008) o uso de critérios de análise econômica na área florestal faz-se necessário para se decidir qual é a melhor alternativa a ser adotada. Entre os principais critérios existentes, podemos citar: Valor Presente Líquido - VPL, Taxa Interna de Retorno - TIR, Razão Benefício/Custo - B/C, Valor Anual Equivalente - VAE, Custo de Oportunidade da Terra - COT, Valor Esperado da Terra - VET e Custo Médio de Produção - CMP (SILVA *et al.*, 2005).

Segundo Rezende e Oliveira (2008) a TIR é interpretada como medida de risco da decisão, e avalia a taxa percentual do retorno do capital investido. Dentre os indicadores econômicos utilizados a TIR é a que possui maior empregabilidade, pois permite uma fácil interpretação além de indicar o retorno do percentual do investimento.

Segundo Silva (2005) a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos, ou seja, igual o VPL a zero. Também pode ser entendida como taxa percentual de retorno do capital investido. Se a TIR for maior que a taxa mínima de atratividade (TMA), significa que o projeto é viável. Assim, o projeto que fornece a maior TIR é considerado o melhor.

Silva *et al.* (2005) descreve o VPL como a diferença existente entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos. Interpretando VPL, quando for maior que zero, o projeto é considerado economicamente viável. Quando empregado na comparação de projetos de dimensões de investimento iguais, a decisão de escolha do melhor projeto será aquela onde se observa o maior VPL.

Material e métodos

Dados utilizados

Para a determinação da influência do COT e do GUT na rentabilidade florestal foram utilizados dados primários obtidos juntos a uma empresa florestal localizada na Região Oriental do Paraguai.

A empresa trabalha com produção de cavacos e postes; embora seja o carro chefe, a produção de madeira sólida de qualidade que tem como destino as indústrias de transformação para posterior produção de laminados e serrados. Os sortimentos de baixo diâmetro são destinados ao segmento de energia.

O regime de manejo empregado pela empresa prevê um desbaste no sexto ano e corte raso no 12º ano. Intervenções silviculturais ocorrem somente no segundo ano.

Para o cálculo do custo de oportunidade da terra estimou-se o valor por hectare da terra na Região Oriental do Paraguai.

Cenários propostos

Os seguintes cenários foram propostos para analisar as variações dos indicadores econômicos:

- I. Somente o fluxo de caixa do projeto florestal;
- II. Fluxo de caixa com a inclusão do custo de oportunidade da terra, e sem grau de utilização da terra;
- III. Fluxo de caixa com a inclusão do custo de oportunidade da terra e do Grau de Utilização da Terra.

O cenário I consiste na verificação da rentabilidade da atividade florestal sem contemplar a influência dos fatores relacionados à terra. Para o cenário II é proposta a inclusão do custo de oportunidade da terra, pressupondo-se que o custo de oportunidade da terra na produção florestal possui um custo que deve ser considerado. No caso do cenário III, juntamente com o custo de oportunidade da terra, foi considerado o seu grau de sua utilização. Sendo assim, cada cenário possui seu próprio fluxo de caixa para a posterior determinação dos indicadores de viabilidade.

Métodos de análise de investimentos

Estruturados os fluxos de caixa contendo as entradas e saídas monetárias ao longo do horizonte de planejamento foram utilizadas as ferramentas de análise econômica para a avaliação da rentabilidade dos cenários propostos. Os valores estimados correspondem ao hectare produtivo de terra. Os métodos de análise utilizados foram:

Valor Presente Líquido

Segundo, Silva (2005):

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

Onde: R_j = valor atual das receitas, C_j = valor atual dos custos, i = taxa de juros, j = período em que a receita ou o custo ocorrem; e n = número máximo de períodos

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR foi obtida por meio da expressão (Silva, 2005):

$$\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Segundo Casarotto (2007) ao se analisar uma proposta de investimento, deve ser considerado o fato de se estar perdendo, a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos. A nova proposta para ser atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco. Esta é, portanto, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Para este estudo, a TMA utilizada para descontar os valores do fluxo de caixa foi de 7,0% ao ano, já que é a taxa de interesse de empréstimos em dólares americano para fins

florestais comerciais vigentes atualmente no Paraguai (OBSERVATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, 2011).

Grau de Utilização da Terra (GUT)

Grau de Utilização da Terra é a relação percentual entre a área efetivamente utilizada pela atividade rural e a área aproveitável do imóvel rural (BERGER *et al.*, 2011).

$$GUT = \left(\frac{AEU}{AAI} \right) \times 100$$

Em que:

GUT= Grau de Utilização da Terra, AEU= Área Efetivamente Utilizada e AAI= Área Aproveitável do Imóvel.

Custo de Oportunidade da Terra

Para o custo de oportunidade da terra, foi considerado o método que considera a taxa de juros sobre o capital investido, representado pela seguinte equação (Silva, 2005):

$$CT = VT * i$$

Onde: CT = Custo de oportunidade da terra (anual), VT = Valor de mercado da terra e *i* = Taxa de desconto.

Resultados e discussão

Fluxo de caixa

Na Tabela 1 estão representados os custos e receitas correntes da atividade florestal por hectare em dólares americanos (US\$), estimados para os três cenários propostos no horizonte de planejamento de 12 anos. Vale ressaltar que os fluxos elaborados não foram incluídas receitas oriundas da possível comercialização de produtos obtidos nas áreas de reserva legal.

Na Tabela 1 pode ser observado que as primeiras receitas se dão no segundo ano, quando é realizada a poda e ao ano seisoriundo do desbaste. Com corte raso que ocorre no ano 12, observase o maior incremento na receita total.

O valor de mercado da terra na região de estudo foi estimado em US\$1500,00/ha. Com este valor, aplicando-se a TMA, chegou-se ao custo anual da terra de US\$ 105,00/ha, empregado no cenário II, e o valor do COT incluindo o GUT de US\$ 160,65 valou-se agregado no cenário III.

Para o cálculo do grau de utilização da terra tomou-se como referencia a lei florestal que estabelece manter reservada uma área do tamanho de 25% da propriedade como reserva legal. Além da superfície ocupada pela reserva legal foi estimado dez per cento da propriedade como área de preservação permanente e outros usos. O grau de utilização da terra deu como resultado que para um hectare de terra plantada o produtor necessitaria adquirir 1,53 hectares de terra, por tanto o preço de aquisição da terra para reflorestar um hectare de floresta aumentou a US\$ 2.295,00.

Tabela 1. Custos e receitas correntes para os cenários I, II e III.

Ano	Custos correntes (US\$/ha)			Receitas correntes (US\$/ha)
	Cenários			
	I	II	III	
0	610,00	610,00	610,00	-
1	173,00	278,00	333,65	-
2	383,00	488,00	543,65	100,00
3	258,00	363,00	418,65	-
4	15,50	120,50	176,15	-
5	15,50	120,50	176,15	-
6	15,50	120,50	176,15	1.000,00
7	15,50	120,50	176,15	-
8	15,50	120,50	176,15	-
9	15,50	120,50	176,15	-
10	15,50	120,50	176,15	-
11	15,50	120,50	176,15	-
12	15,50	120,50	176,15	8.000,00
Total	1.563,50	2.823,50	3.491,30	9.100,00

Na Tabela 2 são apresentados os fluxos de caixa para os três cenários propostos, onde pode ser observada a influência do custo de oportunidade da terra e do grau de utilização da terra incluídos nos cálculos dos cenários II e III.

Tabela 2. Fluxo de Caixa cenários I, II e III

Anos	Fluxo de Caixa (US\$)		
	Cenário I	Cenário II	Cenário III
0	-610,00	-610,00	-610,00
1	-173,00	-278,00	-333,65
2	-283,00	-388,00	-443,65
3	-258,00	-363,00	-418,65
4	- 15,50	-120,50	-176,15
5	- 15,50	-120,50	-176,15
6	984,50	879,50	823,85
7	- 15,50	-120,50	-176,15
8	- 15,50	-120,50	-176,15
9	- 15,50	-120,50	-176,15
10	- 15,50	-120,50	-176,15
11	- 15,50	-120,50	-176,15
12	7.984,50	7.879,50	7.823,85
Total	7.536,50	6.276,50	5.608,70

Análise de investimento

Na Tabela 3 são mostrados os indicadores econômicos calculados para as diferentes opções de investimentos, no caso, relacionados à compra ou não da terra, seu custo de oportunidade e seu grau de utilização.

Tabela 3. Resultados econômicos dos cenários propostos.

Cenários	VPL	TIR
I	US\$ 2.906,53	21,1%
II	US\$ 2.072,55	16,3%
III	US\$ 1.630,54	14,0%

A queda do VPL quando comparado o cenário I com o II é de US\$ 833,98/ha; quando comparado o cenário I com o III a queda ainda maior é de US\$ 1.275,99/ha. A TIR teve variação de - 4,8% do cenário I para o II, e de - 7,1% quando compara o cenário I com o III.

Fica evidente o impacto, tanto do custo de oportunidade da terra como seu grau de utilização, na rentabilidade do investimento florestal.

Os três projetos estudados mostram-se viáveis de acordo com os critérios econômicos utilizados. Para o VPL os cenários I, II e III foram maiores que zero. De igual maneira para a TIR, nos cenários I, II e III esta foi maior que a TMA.

É necessário ressaltar que para o cenário III não foi considerada a reserva legal como área improdutiva, sem nenhuma receita.

Entretanto, para um estudo do impacto do custo de oportunidade e de seu grau de utilização, é preciso uma análise individual dos critérios encontrados para cada uma das opções de investimento em terra.

Considerações finais

A avaliação do grau de utilização da terra é essencial para qualquer análise de inversão no setor florestal já que o grau de restrição de uso, como a exigência de Reservas Legais e/ou de áreas de preservação permanente, pode ter grande influência na rentabilidade do projeto. Neste estudo não foram consideradas receitas de produtos oriundos destas áreas.

As análises realizadas permitem concluir que investimentos na atividade florestal no Paraguai que apresentam retornos econômicos superiores à taxa mínima de atratividade de investimentos alternativos.

Considerando-se as características de longo prazo da atividade florestal, recomenda-se a implementação de instrumentos de política florestal, tais como os relacionados com: a) a capacitação de produtores e trabalhadores do setor; b) a assistência técnica e de ciência e tecnologia florestal; c) os serviços de apoio à industrialização e comercialização dos produtos de base floresta; e) a organização de serviços de inteligência de mercado; f) a promoção do setor de base florestal, entre outros.

Bibliografia

BERGER, R DOS SANTOS, A.; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R.; BITTENCOURT, R.; DE SOUZA, V. EISFELD, C. O. 2011. Efeito do custo da terra na rentabilidade florestal: um estudo de caso para Santa Catarina. *Revista Floresta*, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 599-610, jul./set. 2011. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/24053>. Acesso oct 2011

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 - Eldorado, Misiones, Argentina

- CASAROTTO, N.; 2007. Análise de Investimentos. Matemática Financeira. Engenharia Econômica. Tomada de Decisão. Estratégia Empresaria. Editora Atlas.. 468 p.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.. 2008. Análise Econômica e Social de Projetos Florestais. Viçosa: UFV, 2 ed. 386p.
- SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. 2005. Economia Florestal. Viçosa: UFV, 2 ed. 178p.
- SILVA, M. L.; REZENDE, J. L. P.; LIMA JUNIOR, V. B.; CORDEIRO, S. A.; COELHO JUNIOR, L. M. 2008. Método de cálculo do custo da terra na atividade florestal. Revista Cerne. Lavras, v.14, n.1, p. 75-81, jan./mar. 2008. Disponível em: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/744/74414110.pdf> Acesso fev 2012.
- OBSERVATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, 2011. Mecanismos Financieros. Caso Paraguay. Informe Final.
- TIMOFEICYK JUNIOR, R.; BERGER, R. , SOUSA, R., SILVA, V. 2007. Custo de oportunidade da terra no manejo de baixo impacto em florestas tropicais – um estudo de caso. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007. Disponível em: http://www.portal.ufra.edu.br/attachments/1026_CUSTO%20DE%20OPORTUNIDADE%20DA%20TERRA%20NO%20MANEJO%20DE%20BAIXO%20IMPACTO%20EM%20FLORESTAS%20TROPICAIS%20-%20UM%20ESTUDO%20DE%20CASO.pdf. Acesso oct 2011.

TEORÍA DE OPCIONES REALES EN LA DETERMINACIÓN DEL TURNO ÓPTIMO DE COSECHA FORESTAL PARA DOS OBJETIVOS DE MANEJO

THEORY OF REAL OPTION TO THE OPTIMAL TIMING OF TIMBER HARVESTS FOR TWO OBJECTIVE MANAGEMENT

Milanesi, G¹; Woitschach, G²; Broz, D³

¹CP. Dr. en Ciencias de la Administración. UNS.12 de Octubre y San Juan, 8° Piso, Bahía Blanca, Bs.

As. milanesi@uns.edu.ar

²Ing. Ftal. Doctorando en Cs. de la Administración. CONICET-UNS. 12 de Octubre y San Juan, 2° Piso, Bahía Blanca, Bs. As. mdamoblamientos@gmail.com

³Ing. Ftal. Doctorando en Ingeniería. CONICET-UNS. 12 de Octubre y San Juan, 3° Piso, Bahía Blanca, Bs. As. forestrydiego@gmail.com

Resumen

Se propone el enfoque de Opciones Reales como herramienta para la toma de decisiones estratégicas en el sector. Las variables aleatorias son la tasa de crecimiento del bosque y el precio de los subproductos obtenidos. Para el precio promedio y la variabilidad de la mezcla de subproductos se aplican los conceptos de la Teoría Moderna de la Cartera. La proyección del precio de venta promedio de los subproductos sigue un proceso estocástico del tipo Geométrico Browniano, la producción se determina mediante simulación de un turno forestal. La decisión de talar la masa forestal surge de comparar en cada periodo, el valor de flujo de fondos en cada nodo ($FF_{ij(t)}$) de una rejilla binomial con el valor esperado en el próximo año ($X_{t+1} \times e^{-r\Delta t}$). El enfoque de Opciones Reales, arroja que el máximo valor de ejercicio se da a los 18 años en MAV y 17 años en MP.

Palabras clave: maximizar valor presente, variabilidad, rejilla binomial.

Summary

We present here a real options approach as a tool for strategic decision-making in the forestry sector. We assume that both the rate of growth of trees and the prices of the final products are random variables. We apply the concepts of Portfolio Theory to calculate the mean value and the variability of the mix of final products. We assume, furthermore, that the mean price of the products follows a Geometric Brownian stochastic process. The production cycle, in turn, obtains by simulating a forestry cycle. We use this approach to determine the optimal timing of harvests. The optimal time is determined by comparing at each period, the cash flow corresponding to each node ($FF_{ij(t)}$) in a binomial lattice with the expected value in the next year ($X_{t+1} \times e^{-r\Delta t}$). The real options approach championed here, instead, indicates that the highest value is at the eighteenth year in HVM and seventeenth years in PM.

Key words: maximizing present value, variability, binomial lattice.

Introducción

Se propone aplicar un enfoque de opciones reales para determinar, desde el punto de vista económico financiero, el momento más conveniente para realizar tala de bosques correspondientes a dos manejos forestales, uno de alto valor (MAV) que maximiza el

volumen individual para destino laminable y aserrío grueso, y otro para destino pulpable (MP), que busca maximizar volumen total de la masa. Se propone para la toma de la decisión en cuestión comparar en cada año, desde el 10 hasta el 20, el valor económico asociado al presente y el valor actual esperado de talar en el próximo año. Si el valor en el presente es mayor que el valor esperado actual, se toma la decisión de talar. De lo contrario se difiere al año próximo. En términos de instrumentos financieros se considerará una opción exótica conocida como *barrieroption* del tipo *knock-in* (Hull, 2005). La opción se ejerce (tala) cuando el valor del subyacente (beneficio obtenido) supera al precio de ejercicio (valor actual esperado de la tala en el próximo ejercicio). La comparación período a período es relevante porque estos valores se caracterizan por ser cambiantes en función del tiempo y riesgo de las variables.

Materiales y métodos

Las variables aleatorias relevantes son dos: la tasa de crecimiento de la masa forestal $E g$ y el precio de los productos obtenidos P . La evolución de la masa forestal es obtenida mediante simulación, utilizando el software Simulador Forestal (Crechiet *al*, 2005). Obtenido el dato del crecimiento esperado, el volumen de la masa forestal es proyectado con la siguiente expresión;

$$vol_t = vol_{t-1} \times [1 + E g] \quad (\text{Ec. 1})$$

Para calcular el precio promedio y la variabilidad de la mezcla de subproductos obtenidos se aplican los conceptos de la Teoría Moderna de la Cartera (Markowitz, 1991).¹ Se emplean las ecuaciones para estimar el precio esperado (medio) y el riesgo de precio (desvío estándar) en una combinación de activos financieros. El precio medio se estima con la ecuación 2. En este caso \bar{P}_i representa el precio promedio de cada subproducto, x_i la participación en el total producido y \bar{P}_0 el precio promedio. El riesgo del precio es determinado por la ecuación 3.

$$\bar{P}_0 = \sum_i^n x_i \bar{P}_i \quad (\text{Ec. 2}) \quad \sigma_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{j=1}^n x_j^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{i < j} x_i x_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j} \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde σ_c es el riesgo del precio de la cartera de productos, x_i y x_j representan las participaciones de cada subproducto; σ_i^2 y σ_j^2 representan las varianzas de los precios de los subproductos; σ_i y σ_j los desvíos de los precios y ρ_{ij} el coeficiente de correlación de precios. Usando el precio promedio (Ec.2) se calculan los flujos de fondos libres;

$$FF_t = \left[\bar{P}_0 \times vol_t \right] \times [1 - c_t] \times [1 - I] \quad (\text{Ec. 4}) \quad c_t = \frac{C_t}{\left[\bar{P}_0 \times vol_t \right]} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde vol_t es la producción esperada (Ec.1) y c_t es el porcentaje que representan los costos de producción (variables y de estructura) sobre los ingresos por ventas (Ec. 5). La tasa marginal de impuesto a las ganancias (I) es del 35%. El valor intrínseco de la explotación sin flexibilidad estratégica se estima con la siguiente expresión;

$$VAN_t = FF_t \times e^{-kt} \quad (\text{Ec. 6})$$

¹ La Teoría de la Cartera (*Modern Portfolio Theory*) es aplicable a todo tipo de carteras de activos. En este caso, el precio promedio de la masa forestal es el promedio ponderado del promedio observado de cada subproducto. La volatilidad es representada por la suma ponderada de los desvíos observados ajustados por la covarianza (correlación) precio correspondiente a la familia de subproductos.

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.

7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

La ecuación 6 expresa el valor actual de los flujos de fondos derivados de la tala en cada uno de los años, descontados a la tasa ajustada por riesgo sobre inversiones equivalentes². La estructura de la tasa ad-hoc, para mercado emergente, poco diversificado y segmentado (Damodaran, 2002) surge de ajustar el rendimiento de mercado por la volatilidad total, en este caso dada por el desvío del precio;

$$k = 1 + rm \times 1 + \sigma \sqrt{\Delta t} \quad (\text{Ec. 7})$$

La única variable aleatoria está dada por el crecimiento de la masa forestal, suponiéndose constantes el precio promedio y los costos. La ecuación 7 muestra la formulación de la tasa ajustada por riesgo, donde rm es el adicional por riesgo de mercado, σ es la variación del precio y Δt es la relación entre T/n , siendo esto la longitud de cada paso del modelo, siendo k una relación porcentual.

La proyección del precio de venta promedio de los subproductos sigue un proceso estocástico del tipo Geométrico Browniano. Se trabaja en tiempo discreto y para la elaboración de una rejilla binomial³ se utilizan los parámetros del modelo CRR (Cox, J- Ross, S-Rubinstein, M, 1979). Estos son:

$$u = e^{\sigma_c \sqrt{\Delta t}} \quad (\text{Ec. 8}); \quad d = e^{-\sigma_c \sqrt{\Delta t}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Los movimientos de ascenso u y descenso d son calculados utilizando el desvío de la cartera de precios (Ec.4). El precio de cada nodo padre (i,j) ⁴ de la rejilla, generan los precios ascendentes i y descendentes j de la siguiente manera:

$$P_{ij(t)} = [P_{i(t-1)} \times u; P_{j(t-1)} \times d] \quad (\text{Ec. 10})$$

Una vez proyectado el proceso estocástico del precio (Ec.8 y 9), se calcula nuevamente el flujo de fondos para cada periodo (t) y cada nodo (i,j):

$$FF_{ij(t)} = [P_{ij(t)} \times vol_t] \times 1 - c_t \quad (\text{Ec. 11})$$

Con los flujos de fondos para cada nodo de la rejilla se está en condiciones de construir la opción real. Para ello es menester definir el precio de ejercicio de la opción. La decisión a que se enfrenta el agente es seleccionar el momento de la tala. Para ello debe seguir un criterio de maximización de beneficios, conjugando el factor tiempo y el riesgo que emerge de las variables precio del producto y crecimiento de la masa forestal. Los flujos de fondos proyectados en cada escenario de la rejilla son comparados con el valor esperado del próximo año, según la siguiente expresión;

$$X_{t+1} = \sum_{i=1; j=1}^n FF_{ij(t+1)} \times q_{(t+1)} \quad (\text{Ec. 12})$$

El valor es el promedio de los flujos de fondos en cada nodo del próximo periodo ($FF_{ij(t+1)}$) ponderado por la probabilidad asociada ($q_{i,j(t+1)}$). Las probabilidades asociadas a cada nodo están dadas por:

² La tasa por riesgo equivalente se calcula aplicando los clásicos modelos como el CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), APM (*Arbitrage Pricing Model*); MPM (*Multifactor Pricing Model*) y sus adecuaciones a mercados emergentes.

³ Las rejillas binomiales son empleadas debido a su capacidad de recombinar nodos e incorporar las propiedades propias del triángulo de Pascal. Los árboles binomiales explicitan gráficamente el problema de manera más eficiente. No obstante no permiten recombinar, lo que torna su cálculo computacionalmente más complejo que las rejillas. Si n representa los periodos o intervalos de tiempo, la cantidad de nodos finales de una rejilla es de $n+1$ y de nodos intermedios $n(n+1)/2$. En los árboles binomiales, en cambio, estos valores son 2^{n-1} y $2^n - 1$, respectivamente (Smith, 2005).

⁴ Los nodos pueden interpretarse como posibles escenarios futuros, a mayor intervalo de tiempo mayor cantidad de nodos debido a la mayor incertidumbre. Así para el periodo $t=1$ la cantidad de nodos de la rejilla es de 2 (dos escenarios) mientras que para $t=10$ la cantidad es 11.

$$q_{i;j(t+1)} = \frac{n!}{m! n-m!} \times \left[p^m \times 1 - p^{n-m} \right] \text{ (Ec. 13)}$$

En este caso los éxitos (m) están dados por los movimientos de ascenso (subas) del precio sobre el total de observaciones (n). Estas, condicionadas por los coeficientes equivalente-ciertos (p), estimados con la siguiente ecuación:

$$p = \frac{1+r^{\Delta t} - d}{u-d} \text{ (Ec. 14)}$$

Donde r representa la tasa libre de riesgo y los movimientos ($u;d$) surgen de las ecuaciones 8 y 9 y Δt tiene el mismo origen que en 8 y 9. La decisión de talar la masa forestal surge de comparar en cada periodo, el valor correspondiente a cada nodo ($FF_{ij(t)}$) con el valor esperado en el próximo año ($X_{t+1} \times e^{-r\Delta t}$). Matemáticamente el problema se resume en encontrar:

$$V_{ij(t)} = \begin{cases} FF_{ij(t)}, & \text{si } FF_{ij(t)} > X_{t+1} \times e^{-r\Delta t} \\ 0, & \text{si no} \end{cases} \text{ (Ec. 15)}$$

Si el valor de los flujos de fondos libres ($FF_{ij(t)}$) supera al valor actual esperado del próximo año ($X_{t+1} \times e^{-r\Delta t}$); se ejerce la tala, siendo su valor de $V_{ij} = FF_{ij(t)}$. Caso contrario; si el valor esperado para el próximo año supera los flujos de fondos libres del nodo, el resultado es de $V_{ij} = 0$ difiriendo la tala al año próximo. El valor de la opción en el momento inicial ($t=0$) requiere de utilizar el procedimiento recursivo sobre la rejilla (Milanesi y Vigier 2010) y (Milanesi 2011):

$$V_{0t} = \sum_{i=1; j=1:t}^n V_{ij(t)} \times q_{i;j(t)} \times e^{-r\Delta t} \text{ (Ec. 16)}$$

Siendo V_{0t} el valor actual de la opción de talar en el momento (t). El ejercicio de la opción en cada nodo (escenario) en (t) se expresa por $V_{ij(t)}$. La probabilidad de alcanzar el nodo asociado es $q_{i;j(t)}$. El factor de actualización desde el momento (t) hasta el inicio ($t=0$) es $e^{-r \times t}$. Finalmente el periodo seleccionado para la tala corresponde al de mayor valor actual de beneficios futuros⁵.

Caso de aplicación

Se propone determinar el turno óptimo de cosecha mediante la aplicación de opciones reales a dos predios forestales de 40 hectáreas cada uno de *Pinustaeda* L. La producción se estima mediante la simulación del crecimiento de la masa boscosa. La franja etaria de interés es a partir del año 10 ($t=0$), tomando un horizonte de 10 años. Los objetivos del manejo de cada predio son, por un lado la producción de madera de alto valor comercial (MAV), para ello se busca maximizar el volumen de los individuos; y por otro lado un manejo que busca la maximización del volumen total de la masa con el objetivo prioritario de productos triturables (MP).

En la simulación del manejo se previó para el primer caso (MAV) el inicio del ciclo con 1600 plantas por hectárea, 3 intervenciones de raleos con una intensidad de 50% a 55% y periodicidad de 2 años entre intervención lo que nos permite obtener madera de alto valor

⁵Se recomienda profundizar temática con (Borison, 2003), (Brandao et al. 2005), (Copeland and Antikarov, 2001), (Copeland et al. 2000), (Cox et al 1979), (Copeland et al. 2005), (Pratt and Grabowski, 2008) y (Trigeorgis 1997), (Trigeorgis, 1997).

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.

7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

favoreciendo el volumen individual (Crechi et al, 2005). Se planifica la ejecución de podas, que serán realizadas de acuerdo a la obtención de un cilindro defectuoso menor a 12 cm, eliminándose el 30% de la copa verde, siendo esta intensidad la ideal ya que la repercusión en el crecimiento es mínima (Keller et al 2007). La altura total de poda es de 6,5 metros. Se considera un índice de sitio de 22 metros (edad índice 15), una densidad final de 190 árboles por hectárea. Los parámetros iniciales (*año 10*) del bosque son: altura media 16,4 metros, diámetro medio 29,9 cm, área basal 13,5 m²/ha, un volumen de 108,7 m³/ha y un IDR⁶ de 256.

Para el segundo caso (MP) se prevé una densidad inicial de 1600 plantas/hectárea y una intervención de raleo al quinto año con una intensidad de 50%. Se considera un índice de sitio de 22 metros (edad índice 15), una densidad final de 674 árboles/hectárea. Los parámetros iniciales (*año 10*) del bosque son: altura media 16,0 metros, diámetro medio 19,8 cm, área basal 25,3 m²/ha, un volumen de 196,4 m³/ha y un IDR de 561.

La simulación se lleva a cabo con el software *Simulador Forestal* (Crechi et al, 2005).

Resultados

Estimación de los flujos de fondos

Precio promedio inicial: este surge de aplicar la ecuación 2, arrojando un valor de \$189,15 para MAV y \$134,07 para MP por tonelada para el periodo t=0.

Riesgo de precio: Para su estimación se emplea la ecuación 3, su insumo son las series de precios históricos de los subproductos y sus respectivas participaciones. El riesgo de precio de la cartera de subproductos (σ_c) es de 13,57% para MAV y 14,91% para MP.

Flujo de fondos: Surge de aplicar la ecuación 4. Para determinar el valor del flujo es menester estimar la participación de los costos sobre ventas (Ec. 5).

Descuento de flujos de fondos

Empleando los flujos de fondos se determina el valor actual de las potenciales talas (Ec.6). La tasa ajustada por riesgo (Ec.7) es del 28,39%⁷ para MAV y 28,73% para MP.

Debido al crecimiento de la masa forestal los mayores flujos de fondos se obtienen en el último periodo. Por la sensibilidad de los beneficios al factor de actualización, el criterio del descuento de flujos de fondos indica que el mayor valor actual se produce en el instante t=0. El resultado sugiere que la tala se realice de manera inminente.

Opciones reales

Construcción del proceso estocástico de la variable de riesgo: A los flujos de fondos se incorpora el riesgo de precio. Conforme fue expresado, este asciende al 13,57% y 14,91% para MAV y MP, respectivamente. El movimiento de ascenso y descenso (Ec.8; Ec.9) es de $u = 1,1453$ y $d = 0,8731$ para el MAV y $u = 1,1608$ y $d = 0,8615$ para el MP. Para la construcción de la rejilla se aplica la ecuación 10.

Construcción del flujo de fondos para la rejilla: Proyectado el precio para los escenarios posibles se está en condiciones de estimar los flujos de fondos por nodo (Ec.11).

Determinación de las probabilidades de ocurrencia y el precio de ejercicio: las probabilidades binomiales para cada nodo surgen de aplicar la ecuación 13. El precio de

⁶Ver Índice de Rainek: Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). Mensura Forestal. Costa Rica: Instituto Interamericano para la Agricultura - Gesellschaft für Zusammenarbeit (IICA-GTZ). Pp 390-392.

⁷Para ello se supone un rendimiento de mercado del 25% (suponiendo nivel esperado de inflación) y volatilidad precio del 13,71%.

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.

7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

ejercicio es determinado aplicando la ecuación 12. El valor del precio de ejercicio está dado por el precio promedio de los posibles resultados en cada instante de tiempo.

Determinación del momento de la tala: Los coeficientes equivalentes ciertos (Ec.14) ascienden a $p = 0,6545$ y $1-p=0,3455$ en MAV y $p = 0,6341$ y $1-p=0,3659$ en MP. Conforme fue expuesto, se acepta la tala en el nodo proyectado si los flujos de fondos (Ec.11) superan al valor actual esperado en el próximo ejercicio (Ec.12). Para estimar el valor actual, el precio de ejercicio es actualizado por un periodo al tipo sin riesgo, se supone una tasa $r = 5\%$, para ello se utiliza la ecuación 15.

Para estimar el periodo conveniente desde el punto de vista financiero para la tala; la información de la rejilla precedente se resume en una medida de valor esperado (Ec.16). Los diferentes resultados obtenidos en cada nodo, deben ponderarse por sus probabilidades de ocurrencia (Ec. 13). Con los cálculos precedentes se obtiene el valor del ejercicio (tala). Para llevarlos al mismo horizonte temporal se actualiza por el factor libre de riesgo. La decisión en juego en el último periodo se balancea entre talar o abandonar, puesto que se supone que no existe camino estratégico alternativo (venta o diferimiento).

A diferencia del criterio tradicional el enfoque de opciones reales incorpora variables estocásticas (riesgo de precio) y la flexibilidad estratégica del ejercicio de talar. El mayor valor actual se obtiene en el periodo $t=10$ (año 20). Entre los periodos $t=0$ hasta $t=9$, el máximo valor de ejercicio de la tala surge en el periodo $t=8$ (año 18) en MAV y $t=7$ (año 17) en MP. Estos resultados difieren del criterio tradicional de descuento de flujo de fondos, donde el riesgo es incorporado íntegramente en el factor de actualización, los periodos de tiempo son tratados sin flexibilidad alguna (solamente tala) y el resultado se encuentra en parte influenciado, por el impacto de la tasa ajustada por riesgo en el flujo de fondos esperado estático.

Conclusiones

Se expuso un modelo alternativo al clásico método de descuento de flujos de fondos, para estimar la conveniencia financiera – temporal de ejercer la opción de talar una masa forestal hipotética. La falencia del método tradicional es no considerar la flexibilidad estratégica (diferir por un periodo) y considerar solamente el riesgo en la tasa. En este trabajo proponemos aplicar la teoría de opciones reales para incorporar en el marco de decisión la posibilidad de diferir la tala y tomar en cuenta el proceso aleatorio del precio. La decisión consiste en comparar cada escenario proyectado versus el valor actual promedio de los escenarios del próximo ejercicio. En términos de opción financiera la decisión se asemeja a una *barrieroption* del tipo *knock-in*.

En el ejemplo analizado, el método de descuento de flujos de fondos sugiere talar a los 11 años ($t=1$) en MAV con un VAN de \$382105,6 y a no más que 10 años ($t \leq 0$) para MP con un VAN de \$400899,2. Esto es una consecuencia de la alta sensibilidad negativa de los flujos al factor de descuento, además de que la variable precio se supone constante en todo el periodo de proyección. La aplicación del método de opciones reales, por el contrario, sugiere que el máximo valor se obtiene en el último periodo. Descartada esta opción, que no posee flexibilidad, el segundo momento óptimo se encuentra en el año 18 ($t=8$) en MAV con un valor actual de la opción de tala de \$983730,13 y año 17 ($t=7$) con \$909490,09 en MP (Ver gráfico 1). Esto se determina en base a un proceso estocástico binomial para el precio, incorporando volatilidad en la estimación de los flujos de la rejilla para cada nodo como para el precio de ejercicio estimado.

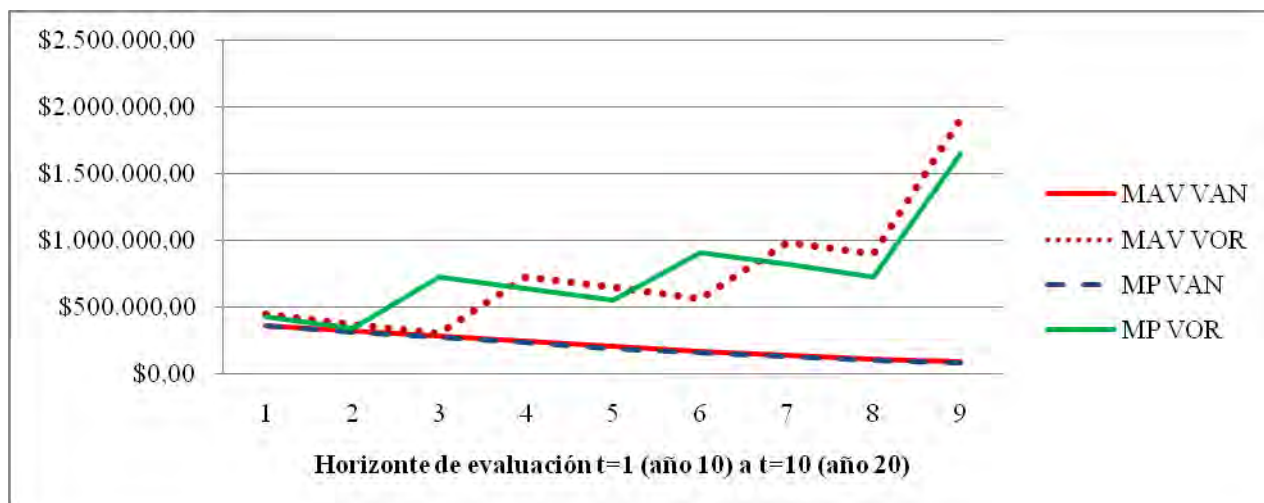


Gráfico 1. Perfil de beneficios actuales esperados VAN-VOR por tipo de manejo forestal.

Graphic 1. Profile of current expected benefits in the NPV and ROV approaches by type of forest management.

Se recomienda continuar en el estudio buscando incorporar otras técnicas económicas que permitan mayor precisión a la hora de tomar la decisión de ejercicio, tales como análisis de riesgo, teoría de juegos, modelos econométricos, entre otros ya que en la misma recae la rentabilidad de la masa y en consecuencia del negocio forestal.

Agradecimiento

Al Dr. Fernando A. Tohmé por sus revisiones y sugerencias.

Bibliografía

- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., Grebner, D. L. 2008. Forest management and planning. (1^{era} ed.). Academic Press. California, USA. 360 pp.
- Blasco, C., Carenzo, S., Astrada, E. 2005. Evaluación de un sistema silvopastoril sobre vinales en Formosa, Argentina. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. 2(1): 57-68
- Borison, A. 2005. Real Option Analysis: Where are the Emperor's Clothes?. Journal of Applied Corporate Finance. 17(2): 17-31.
- Brandao, L; Dyer, J; Hahn, W. 2005. Using Binomial Decision Trees to Solve Real Options Valuations Problems. Journal of Decision Analysis 2(2): 69-88.
- Cerruto Riveiro, S. C., Leite Chaves, H. M., Goncçlves Jacovine, L. A. Lopez da Silva, M. 2007. Estimativa do abatimento de erosão aportado por um sistema agrossilvipastoril e sua contrubuição econômica. Revista Árvore. 31(2): 285-293
- Copeland, T; Antikarov, V. 2001. Real Options. (1^{era} ed). New York: Texere LLC. 370 pp.
- Copeland, T; Koller, T; Murrin, J. 2000. Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies. (3^{era} ed). New York: Wiley. 490 pp.
- Copeland, T; Weston, F; Shastri, K. 2005. Financial Theory and Corporate Policy . (4^{ta} ed.). Estados Unidos: Pearson Addison Wesley. 1000 pp.
- Cox, J; Ross, S; Rubinstein, M. 1979. Option Pricing: A Simplified Approach. Journal of Financial Economics. 7(3): 229-263.

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.

7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

- Crechi, E., Fernández, R., Friedl, A., & Falher, J. 2005. Efectos de raleo en *Pinus taeda*, Norte Misionero. Estación Experimental INTA Montecarlo. IDIA XXI N° 8.
- Crechi, E; Fassola, H; Friedl, A. 2005. Simulador Forestal. IDIA XXI N° 8.
- Damodaran, A. 2002. Investment Valuation. (2^{da} ed). New York: John Wiley & Sons. 992 pp.
- Hull, J. 2005. Futures, Options and other Derivatives. (5^{ta} ed). New Jersey: Prentice Hall. 744 pp.
- Keller, A., Fassola, H., & Pachas, N. 2007. Efecto de la poda y raleo en el crecimiento de *Pinus taeda* L a los 11 años de edad en el Departamento de Iguazú, Misiones. XI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado: FCF, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.
- Markowitz, H. 1991. Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments. (2^{da} ed.). Cambridge, Massachusetts: Blackwell Publishers. 400 pp.
- Matos Bentes-Gama, M., Lopez da Silva, M., Montoya Vilcahuamán, L. J., Locatellis, M. 2005. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. Revista Árvore. 9(3): 401-411
- Milanesi, G; Vigier, H. 2010. Árboles de Decisión, Opciones Reales y Enfoque Integrado en Mercados Completos e Incompletos. In A. A. Política (Ed.), Anales Asociación Argentina de Economía Política (pp. 1-30). Buenos Aires: AAEP.
- Milanesi, G. 2011. Opciones Reales: Teoría y Casos Prácticos (1^{era} ed.). Buenos Aires: Induvio Editora. 156 pp.
- Moreira A. R. B., Reis, E. J., Rocha, K., Carvalho, L. 2000. A valoração das concessões nas florestas nacionais da Amazônia: uma abordagem com opções reais. Pesquisa e Planejamento Econômico. 30(3): 327-354.
- Musálem, M. A. 2002. Sistemas agrosivopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. Revista Chapingo. 8(2): 91-100
- Plantinga, A. J. 1998. The optimal timber rotation: an option value approach. Forest Science. 44(2): 192-202.
- Pratt; S; Grabowski; R. (2008). Cost Of Capital: Applications and Examples (3^{era} ed.). New Jersey: John Wiley & Sons. 778 pp.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). Mensura Forestal.(1^{era} ed.). Costa Rica. Instituto Interamericano para la Agricultura - Gesellschaft für Zusammenarbeit (IICA-GTZ). 511 pp.
- Sant'Anna, A. C., Nogueira, J. M. 2010. Valoração econômica dos serviços ambientais de florestas nacionais. Revista de Administração e Negócios da Amazônia. 2(1): 82-108.
- Schneider, P. R. 2002. Manejo florestal: Planejamento da produção florestal. (1^{era} ed.) Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais. Santa Maria, Brasil. 492 pp
- Smith, J. (2005). Alternative Approach for Solving Real Options Problems. Decision Analysis. 2(2): 89-102.
- Trigeorgis, L. (1997). Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocations (2^{da} ed.). Cambridge: MIT Press. 427 pp.

EVALUACIÓN ECONOMICA DEL DAÑO PRODUCIDO POR INSECTOS EN SEMILLAS DE *Prosopis alba* Griseb BAJO DIFERENTES METODOS DE CONTROL

ECONOMIC EVALUATION OF DAMAGE CAUSED BY INSECTS INSEEDS OF *Prosopis alba* Griseb IN DIFFERENT CONTROL METHODS

Sirka, C. E.¹; Monzón, L. I.²; Oviedo M.A.³ (at equo)

¹ Ingeniero Forestal, Docente investigador. Asignatura Metodología de la Investigación. Facultad de Recursos Naturales, UNaF. Av. Gutnisky 3200, CP 3600. Email: cesirka@yahoo.com.ar

²Ingeniero Forestal, Docente investigador. Asignatura Terapeutica Vegetal. Facultad de Recursos Naturales, UNaF. Av. Gutnisky 3200, CP 3600. Email: lidiamonzón@yahoo.com.ar

³Ingeniero Forestal, Docente investigador. Asignatura Manejo de Areas Silvestres. Facultad de Recursos Naturales, UNaF. Av. Gutnisky 3200, CP 3600. Email: ma1_oviedo@yahoo.com.ar

Resumen

El *Prosopis alba* Griseb (Algarrobo blanco) constituye una de las especies forestales de mayor importancia comercial en la provincia de Formosa. Uno de los problemas detectados es el reducido tiempo que pueden almacenarse los frutos debido al ataque intensivo por diversas especies de insectos. El objetivo de este trabajo fue estimar el daño económico causado por los insectos de la semilla de *P. alba*, en frutos almacenados, en relación a la efectividad de distintos métodos de control. Los frutos para el estudio fueron cosechados de ejemplares seleccionados en las colonias de la localidad de Villa Dos Trece, provincia de Formosa. Los tratamientos aplicados a los frutos fueron: cama de *Chenopodium sp* (paico), Fosfuro de aluminio 60%, ceniza vegetal mezclada con cal y conservación de los frutos en frío ($8^{\circ} \text{C} \pm 2$) para 120 días de almacenamiento. Para la determinación del daño económico, se usó el modelo de regresión lineal múltiple utilizando el poder germinativo de las semillas. Se observó la presencia de *Rhipibruchus prosopis* Kinsolver, *Scutobruchus ceratioborus* (Phlipi) y *Lophopoeum bruchis* Monne y Martins como insectos que dañan las semillas de *Prosopis alba*. Se determinó la conveniencia de conservar los frutos de *P. alba* en frío y la utilización de Fosfuro de Aluminio 60 % como métodos de control de insectos más efectivos. El daño económico en semillas tratadas con Fosfuro de aluminio, aplicado a intervalos regulares de 30 días, originó una pérdida de 25,64 % (\$ 153,85), las semillas conservadas en frío 26,42 % (\$ 158,56) y aquellas que no recibieron tratamientos de control un 91 % (\$ 546).

Palabras claves: Semilla, *Prosopis alba*, Control de insectos, Evaluación económica.

Summary

The *Prosopis alba* Griseb (Algarrobo blanco) is a forest species of great commercial importance in the province of Formosa. One problem is the limited time you can store the fruits due to heavy insect attack. The aim of this study was to estimate the economic damage caused by insects of the seed of *P. alba*, fruits stored in relation to the effectiveness of different control methods. The fruits for the study were harvested from selected individuals in the colonies of the town of Villa Dos Trece, province of Formosa. The treatments applied to fruits were: *Chenopodium sp* (paico), Aluminum phosphide 60%, vegetable ash mixed with lime and preservation of fruits in cold ($8^{\circ} \text{C} \pm 2$) for 120 days of storage. To determine the economic damage, was used multiple linear regression model. We observed in seeds of *Prosopis alba* insects as: *Rhipibruchus prosopis* Kinsolver, *Scutobruchus ceratioborus* (Phlipi) and *Lophopoeum bruchis* Martins Monne. We determined the desirability of

preserving the fruits of *P. alba* cold and the use of Aluminium Phosphide 60% insect control as the methods more effective. The economic damage in seeds treated with Aluminum phosphide, applied at intervals of 30 days, resulted in a loss of 25.64% (\$ 153.85), cold- store saved seed 26.42% (\$ 158.56) and those who received no treatment control 91% (\$ 546)

Key Words: Seed, *Prosopis alba*, insect control, economic evaluation

Introducción

El *Prosopis alba* Griseb (Algarrobo blanco) es una de las 11 especies del género *Prosopis* inventariada en la provincia de Formosa, y conjuntamente con *Prosopis nigra* (Algarrobo negro) constituyen las de mayor importancia comercial. Se encuentra como componente principal en las formaciones boscosas denominadas colonizadoras y secundario en bosques altos y bajos de toda la geografía de la provincia de Formosa (1).

La presión antrópica, sobre estas dos especies, genera no solo la reducción de fuentes de provisión de semillas sino también la desaparición de genotipos valiosos y pérdida de la biodiversidad existente. En la Provincia de Formosa, para el período 1.998-2008 existió un volumen de extracción promedio de 60.000 toneladas anuales, valor muy superior al resto de las especies componentes de sus bosques (datos sin publicación).

El algarrobo blanco es considerado el árbol por excelencia por los múltiples beneficios que brinda, proporciona madera para muebles y aberturas de primera línea, frutos para la elaboración de alimentos, bebidas, productos medicinales para celíacos y forraje para ganado.

Expertos en Recursos Genéticos Forestales de la FAO (1997) (2) recomiendan que se encaren proyectos de investigación cuyos objetivos tiendan a la preservación y la mejor utilización de recursos genéticos de especies arbóreas como el *Prosopis alba* y *Acacia sp.*, como proveedoras de bienes y servicios para la comunidad rural. En este sentido para encarar un programa de forestación y/o recuperación de suelos degradados es necesario contar con semillas de calidad genética y buen estado sanitario por ser el principal medio de propagación de esta especie.

Uno de los problemas detectados es el reducido tiempo que pueden almacenarse los frutos después de ser cosechados, debido a que son intensamente atacados por diversas especies de insectos que inutilizan la semilla para la siembra y para forrajero debido a que las deyecciones de estos insectos son tóxicas.

Kingsolver, Y. (1982; 1983) (4-5) expresa que las especies de los géneros *Acanthoscelides*, *Pectinibruchus*, *Rhipibruchus* y *Scutobruchus* son los principales Brúquidos que infestan las semillas de *Prosopis* en Argentina, Chile y Perú y que existen diferencias de comportamientos entre las especies de estos géneros. El mismo autor menciona para la provincia de Formosa a *Rhipibruchus rugicollis* en la localidad de Cte. Fontana e Ingeniero Juárez sobre *Prosopis kuntzei*. También menciona, en el año 1976 a la especie *Rhipibruchus oedipygus* en la localidad de Ibarreta y a la especie *Rhipibruchus prosopis* en la localidad de Cte. Fontana (1977) sobre *Prosopis kuntzei*.

Monzón L. et al. (2.005) (9) comunica la presencia de *Rhipibruchus prosopis* y *Scutobruchus ceratioborus* (Coleóptera: Bruchidae), *Lophopoeum bruchis* (Coleóptera: Cerambycidae) y *Plodia interpunctella* (Lepidóptera: Pyralidae), en frutos de *Prosopis alba* en la Localidad de Teniente Braun, Las Lomitas (Formosa).

Monzón L. et al. (2007) (10), caracteriza los daños que el cerambícido *Lophopoeum bruchis* realiza en semillas de *Prosopis alba*, en la provincia de Formosa.

La FAO (1997) (2) menciona distintos insecticidas que se utilizaron, en el campo y en frutos almacenados, para el control de insectos de la familia Bruchidae en *Prosopis*, como el

Fosforo de aluminio, Dimetoato y Gamexane entre otros. También menciona métodos tradicionales de control de insectos como polvo de rizomas de *Acorus calamos* y *Cactus sp.*, cenizas de *Allium sativa* y *A. cepa*, aceite de coco, ceniza vegetal y cal.

La FAO (2002) (3) sugiere, como medida preventiva, exponer los frutos al sol durante tres días para reducir el contenido de humedad a un 12 % y tratar los frutos almacenados con productos químicos como sulfuro de aluminio y dimetoato y utilizar medios físicos, (60° C durante 30 minutos y frío a 10 ° C). Todos estos tratamientos actúan sobre los insectos adultos imposibilitando su reproducción. Asimismo, este organismo, recomienda para el control de insectos y a fin de prolongar el período de almacenamiento de los frutos y semillas, el uso de hojas de paraíso (*Melia azederach*), ajeno dulce (*Artemisia annua*), poleo (*Mentha puligium*), salvia (*Salvia officinalis*), acacia (*Robinia pseudocacia*) y paico (*Chenopodium ambrosioide*).

Lorea, *et al.* (2002) (6) consideran que para prolongar el tiempo de almacenamiento de los frutos de *P. alba* la humedad relativa debe ser inferior a 65% y el contenido de humedad de los mismos no debe superar el 14 %. Además mencionan que la utilización de productos químicos, considerados eficaces y de bajo costo, están cada vez mas restringidos por las normativas vigentes en relación a los residuos tóxicos y la contaminación mencionando al fosforo de aluminio como el más utilizado en la actualidad.

Mazzuferi, *et al* (1995) (7) expresan que el tratamiento de calor permite en una única etapa disminuir el contenido de humedad para facilitar la trilla y favorecer la conservación de las semillas. Además expresa que se retrasa y/o reduce notablemente la emergencia de los brúquidos que infestan las semillas de *Prosopis chilensis*. Asimismo en el año 1999 (8) dan a conocer las bondades del Fosforo de aluminio en los tratamientos de frutos de *Prosopis chilensis* para el control de Brúquidos que infestan las semillas.

A través de este trabajo de investigación se busca estimar el daño económico causado por los insectos del fruto de *Prosopis alba* en relación a la efectividad de distintos métodos de control, en frutos almacenados, relacionándolo con el poder germinativo de la semilla.

Material y Método

En las colonias de la localidad de Villa Dos Trece, provincia de Formosa, se seleccionaron 10 ejemplares portagranos de *Prosopis alba* con un diámetro a la altura del pecho entre 40 y 60 cm y de conformación estructural óptima en lo referente al desarrollo de fuste y copa.

La cosecha de los frutos se realizó en forma manual en la primera quincena del mes de diciembre coincidente con la maduración de los mismos. Fueron colocados en bolsas arpilleras etiquetadas para su traslado al laboratorio de Sanidad Forestal de la Facultad de Recursos Naturales.

Los frutos fueron distribuidos sobre una lona y expuestos al sol durante tres días para lograr una humedad próxima al 12 % (ISTA).

En laboratorio se obtuvieron insectos al estado adulto, se realizaron observaciones de los mismos y se compararon con la colección existente.

Tratamiento de control de insectos:

Se colocaron 10 kg de frutos en cada una de las 20 bolsas de polietileno de 100 micras color negro. Las 20 bolsas formaron parte de 5 tratamientos incluido el testigo, cada uno con 4 repeticiones.

Los tratamientos aplicados a los frutos fueron:

Tratamiento (A): *Chenopodium sp* (paico) al estado fresco, colocado en cama de 2 cm en el fondo y en el medio de cada bolsa.

Tratamiento (B): Dos pastillas de Fosforo de aluminio 60%.

Tratamiento (C): Ceniza vegetal mezclada con cal, en partes iguales, a razón de 100 gramos por bolsa.

Tratamiento (D): Conservación de los frutos a 8° C (\pm 1).

Testigo: Sin tratamiento.

Después de la aplicación de los tratamientos las bolsas fueron selladas.

Los tratamientos A, B y C fueron repetidos a los 30, 60 y 90 días en iguales dosis.

Determinación del poder germinativo:

La determinación de la efectividad de los tratamientos de control de insectos fue evaluado a través del poder germinativo de las semillas para los distintos tratamientos y los diferentes tiempos de almacenamiento.

Se tomaron muestras de frutos al azar de cada una de las bolsas que constituyen los cinco tratamientos; se extrajeron 400 semillas en forma manual, por cada uno de los mismos. Las semillas fueron escarificadas con ácido sulfúrico al 5 % durante 3 minutos y se dividieron en 4 submuestras de 100 semillas. Cada una de las submuestras fueron colocadas en bandejas plásticas conteniendo 500 gramos de arena esterilizada, humedecida con 150 mililitros de agua destilada y cubiertas con bolsas de polietileno transparentes; las mismas fueron colocadas en estufa de germinación a 25 °C (\pm 1) con un foto periodo de 16 horas de luz.

Las observaciones y registros referentes a la germinación de semillas se realizaron diariamente y por el término de 14 días según Normas ISTA (11).

Análisis estadístico:

Se utilizó el ANOVA factorial y, a posteriori, el test de comparación múltiple para detectar diferencias significativas entre los tratamientos.

Se aplicó el modelo de regresión lineal múltiple para determinar el daño económico causado por los insectos en relación a cada uno de los tratamientos de control.

Los indicadores cuantificables que se utilizaron a fin de conocer el daño económico producido en semillas de algarrobo blanco fueron el porcentaje de semillas no germinadas y el precio del kilogramo de semilla valuado en \$ 600 a diciembre del año 2.010.

Resultados

En frutos de algarrobo se encontraron las especies *Rhipibruchus prosopis* Kinsolver y *Scutobruchus ceratioborus* (Phlippi) (Coleóptera, Bruchidae) y *Lophopoeum bruchis* Monne y Martins (Coleóptera, Cerambycidae).

Ensayos de Germinación

Según muestra la Tabla 1, los valores de poder germinativo fueron:

Tabla 1: Poder germinativo de semillas de *P. alba* en diferentes tiempos de almacenamiento y tratamientos de control con sus correspondientes desvíos Estándar.
Table 1: Power germination of seeds of *P. alba* at different times of storage and control treatments with their corresponding standard deviations.

Tratamientos de control insectos	Tiempo de almacenamiento Días	Poder germinativo (%)	Desvío Estándar
A.-Cama de Paico	0	93,8	7,5
	30	81,2	7,9
	60	49,4	8,4
	90	31,6	8,0
	120	20,4	10,9
B.-Fosfuro de aluminio (dosis doble)	0	93,2	2,6
	30	90,0	5,9
	60	94,0	5,0
	90	73,0	5,7
	120	72,0	3,8
C.-Ceniza vegetal y cal	0	94,4	2,4
	30	75,0	6,5
	60	45,8	7,2
	90	30,6	5,9
	120	24,2	9,9
D.-Frío (8 ± 2 °C)	0	93,0	3,0
	30	90,4	2,3
	60	83,4	2,4
	90	73,6	4,1
	120	69,9	4,4
T.-Testigo	0	92,2	3,3
	30	59,2	2,8
	60	32,6	4,8
	90	14,8	5,3
	120	1,6	18,0

De los datos se deduce que a los 30 días de almacenamiento se detectan diferencias estadísticas significativas de los distintos tratamientos, respecto al testigo, tendencia que se mantiene durante los 120 días de almacenamiento.

A partir de la tercer prueba de germinación los tratamientos B y D se presentan como mas efectivos ya que se detectan diferencias estadísticas significativas para un α de 0,95 con respecto a los otros tratamientos.

Valoración económica de los daños

A los 30 días, el testigo se presenta como el lote con mayor porcentaje de semillas dañadas respecto de aquellos que recibieron tratamiento para el control de insectos lo que se incrementó hasta la pérdida total de semillas a los 120 días.

A partir de los 60 días los tratamientos A y C incrementaron los daños llegando a los 120 días con pérdidas del 80 % de su poder germinativo.

Los tratamientos B y D se presentaron con menor porcentaje de semillas dañadas

En la Tabla 2, se presenta el modelo utilizado para estimar económicamente el daño causado por los insectos en los diferentes tratamientos.

Tabla 2: Daño económico (en pesos) causado por insectos del fruto de *P. alba* en relación a la efectividad de distintos métodos de control, para un tiempo de almacenamiento de 120 días.

Table 2: Economic damage (in dollars) caused by insects from the fruit of *P. morning* regarding the effectiveness of different control methods for a storage time of 120 days.

Tratamiento de control de Insectos	Modelos de Regresión lineal múltiple	Daño económico (en pesos) para 120 días de almacenamiento	Daño económico en porcentaje
T- Testigo	$104,409 + 3,68219 \times$ tiempo almacenamiento	546,27	91,00 %
A- Paico	$70,499 + 2,34369 \times$ tiempo almacenamiento	351,74	58,62 %
B- Fosfuro de aluminio	$33,739 + 1,00099 \times$ tiempo almacenamiento	153,85	25,64 %
C- Ceniza vegetal y cal	$50,092 + 3,19000 \times$ tiempo almacenamiento	432,89	72,14 %
D- Frío	$36,884 + 1,01399 \times$ tiempo almacenamiento	158,56	26,42 %

A través de este modelo se determinó que para 120 días de almacenamiento, en el testigo, el daño económico ascendió a un 91 % (\$ 546) por kilogramo de semilla arrojando menor pérdida, un 25,64 %, el tratamiento a base de Fosfuro de aluminio.

Para todo los casos analizados el P-valor es menor que (alfa = 0.05), con coeficientes de determinación superiores a 80 % lo que indica las bondades del ajuste de los modelos.

Conclusión

Se encontraron las especies *Rhipibruchus prosopis* Kinsolver y *Scutubruchus ceratioborus* (Philippi) de la familia Bruquidae y *Lophopoeum bruchis* Monne y Martins (Coleóptera, Cerambycidae) en frutos de *Prosopis alba* en la localidad de Villa Dos Trece, Departamento Pirané de la provincia de Formosa.

Se determinó la conveniencia de conservar los frutos de *P. alba* en frío (8 ± 2 °C) y la utilización de Fosfuro de aluminio 60 %, aplicado a intervalos regulares de 30 días, durante 120 días de almacenamiento como métodos de control de insectos que dañan la semilla.

En base al uso del Modelo de Regresión lineal múltiple se estimó económicamente el daño, por Kg de semillas de *P. alba*, causado por los insectos durante 120 días de almacenamiento. El daño en semillas tratadas con Fosfuro de aluminio 60 % aplicado a intervalos regulares de 30 días originó una pérdida de 25,64 % (\$ 153,85), las conservadas en frío 26,42 % (\$ 158,56) y aquellas que no recibieron tratamientos de control un 91 % (\$ 546).

Bibliografía

- Inventario Forestal. (1.977, 1978 y 1979) Inventario Forestal de la Provincia de Formosa, Ministerio de Asuntos Agropecuarios y Recursos Naturales. Tomo I, II, y III. Pp 78.
- FAO (1.997) Potencial del Algarrobo (*Prosopis juliflora*). El Algarrobo considerado un árbol de uso múltiple, siendo sus frutos fuentes importantes de proteínas. www.fao.org/docrep/006/y4435s/htm.
- F.A.O. (2.002); Manual sobre insectos que infestan las semillas de Prosopis. Géneros de Bruchidae. Estudios intensivos del ciclo biológico de los insectos. www.fao.org/docrep/htm.
- Kingsolver, John M, (1982). Taxonomix studies in the genus *Rhipibruchus Bridwell* (Coleóptera: Bruchidae) with descriptions of four new species. Proc. Entomol. Soc. Wash. 84(4), pp. 661-684.
- Kingsolver, John M., (1983). A review of the genus *Scutubruchus kingsolver* (Coleóptera: Bruchidae), with descriptions of four new species, and synonymy. Proc. Entomol. Soc. Wash. 85(3), pp. 513-527.
- Lorea Barocio, C de; Romero Nápoles, J. y Valdez Carrazco, J. (2002). Especie y hospedera de los Bruchidae (Insecta: Coleóptera) de México Entomología Agrícola de Universidad México Bol 23. Pag.45 60.
- Mazzuferi, V. Ingaramo P. y Joseau J., (1994) Tratamiento de calor para el secado de frutos y el control de insectos en *Prosopis chilensis*. AGRISCIENTIA,., Vol.XI: 49-53.
- Mazzuferi, V. y Novo, Ricardo, Efectividad de la Fosfamina en los tratamientos de frutos de *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz para el control de Bruchidae que infestan las semillas y su incidencia sobre la calidad. Investigación Agrícola (Chile) Vol. 19, N° 1 y 2; 19-23, 1999
- Monzón, C.; Monzón, L; Sirka, C. y Zibetti, G. (2005); Insectos en frutos de *Prosopis alba* en la colonia Teniente Brawn (Las Lomitas) Provincia de Formosa Argentina" Revista de Ciencia y Técnica de la UNaF p.p.60.
- Monzón, L.; Sirka, C.; Zibetti, G. (2007) *Lophopoeum bruchis* (Coleóptera: Cerambycidae) en frutos de *Prosopis alba* en 4 localidades de la Provincia de Formosa. Revista de Ciencia y Técnica. Universidad de Formosa p.p. 69.
- Nava Nosti, J. (ISTA.): (1.977) Reglas internacional para el Ensayos de semillas. Traducidas de decimoséptimo Congreso Internacional de Ensayos de Semillas. Varsovia.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA DUREZA JANKA EN MADERA DE *Araucaria angustifolia* (Bert. O. Kuntze) CULTIVADA EN MISIONES.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE JANKA HARDNESS FROM WOOD *Araucaria angustifolia* (Bert. O. Kuntze) GROWN ON MISIONES.

AlvarezE^[1]; Lerda FE^[2]

^[1]Estudiante de Ingeniería Civil, integrante de Grupo GIDEC (Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles), Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto. Laprida 651 Venado Tuerto. Argentina, e-mail: ema2203@hotmail.com

^[2] Estudiante de Ingeniería Civil, integrante de Grupo GIDEC (Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles), Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto. Laprida 651 Venado Tuerto. Argentina, e-mail: lef_336@hotmail.com / felelda@powervt.com.ar

Resumen

El trabajo presenta la determinación experimental de la dureza Janka para la madera de *Araucaria angustifolia* cultivada en Misiones, se realizó según las prescripciones de la Norma IRAM 9570, formando parte de un proyecto integral sobre estudio de las propiedades físicas y químicas de la especie. El valor resultante se compara con el publicado en la ficha técnica de la especie por el Instituto Forestal Nacional y por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), además de evaluar su aptitud para diferentes aplicaciones industriales. Los resultados presentan un valor de 377,60 kg/cm², que supera en un 34,85% al presentado en las fichas del Instituto Forestal Nacional, con este valor la especie pasa de la categoría de maderas muy blandas a blandas. Si bien no alcanza el valor mínimo de dureza recomendable para su aplicación en pisos y tableros de 550kg/cm², es del orden de la dureza del *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden), siendo ésta especie utilizada con éxito en la fabricación de pisos.

Palabras Claves: madera, dureza, propiedades mecánicas, *araucaria angustifolia*.

Summary

This paper presents the experimental determination of Janka hardness for wood of *Araucaria angustifolia* cultivated in Misiones, which was done according to the prescriptions of the IRAM 9570, being a part of an integral project about the study of the physical and chemical properties of this species. The resulting value is compared with the published in the data sheet from the species by the National Forestry Institute and by the National Institute of Industrial Technology (INTI), also to evaluate its aptitude for different industrial applications. The results show a value of 377,60 kg/cm², which exceeds by 34,85% to the presented in the data sheet from the National Forest Institute, with this value, the species moves from the category of very soft to soft woods. Although it does not reach the minimum value of hardness recommended for the use on floors and boards of 550kg/cm², is about the hardness of *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden), being this species successfully used in the manufacture of flooring.

Key words: wood, hardness, mechanical properties, *araucaria angustifolia*.

Introducción

Es de fundamental importancia para la aplicación y comercialización de nuestras maderas la caracterización y el conocimiento de las diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Por otra parte estos conocimientos serán de utilidad para lograr un mejor aprovechamiento de la madera obtenida de las plantaciones sustentables de nuestro país.

La dureza esta caracterizada, fundamentalmente, por la resistencia que acusan las maderas a la penetración de un cuerpo duro idealmente indeformable, bajo la acción lenta de una presión o a través de un impacto (Coronel 1995).

Esta propiedad tiene importancia dentro de la técnica de aplicación de la madera por estar estrechamente relacionada con el trabajo de ésta, tanto a mano como mecánico; existiendo una relación directa entre dureza y dificultad del trabajo.

Sobre la base de lo expuesto, podemos mencionar la importancia de este estudio para la utilización de la madera en la construcción sobre todo cuando se trata de piezas que deben retener fuertemente tornillos, clavos o puntas de ensambladuras como también para el empleo de diferentes tipos de tableros y de pisos.

Según maderera J.S. Rataroel valor mínimo de dureza de las maderas para ser utilizadas en tableros y pisos es de 550 kg/cm^2 .

El presente trabajo tiene como objetivo sumar conocimiento a la caracterización de la especie, determinando la dureza Janka de la madera de *Araucaria angustifolia* para compararla con la establecida por en el Instituto Forestal Nacional y por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial para dicha especie y con las de otras, tales como *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*(CITEMA - INTI) y encuadrarla dentro del rango de dureza de maderas publicado en (Coronel 1995)para evaluar los potenciales usos comerciales e industriales.

Materiales y métodos

La madera utilizada para el trabajo experimental, fue de *Araucaria angustifolia*, más comúnmente conocida como pino paraná, un árbol de gran altura nativo de la selva de Misiones (**imagen 1**) la cual se obtuvo de acuerdo a lo disponible en el mercado local. Es de un alto fuste natural, que en nuestro país alcanza a veces la primera magnitud, es decir, los 35 metros de altura y llega a 1,5 metros de diámetro. Su madera es blanda de color amarillo rosado, presenta pocos nudos y es muy liviana. La madera que se comercializa proviene de bosques de reforestación



Imagen 1: ejemplar de *Pino paraná-ParanaPinespecies*

El ensayo consiste en forzar dentro de la probeta un penetrador cilíndrico de cabeza semiesférica de acero de 11,284 mm de diámetro como lo indica la **figura 1**, mediante el uso de una prensa hidráulica.

Primeramente se prepararon 33 probetas de 50mm x 50mm x 25mm exentas de defectos según lo estipulado por la Norma IRAM 9570, para luego comenzar con el ensayo.

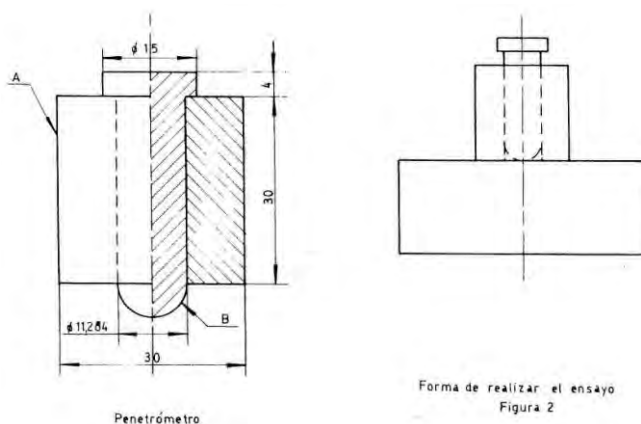


Figura 1: penetrador y guía - penetrator and guide

En primera instancia se coloca la probeta debajo del penetrador y se le aplica una carga continua, con velocidad de avance del cabezal que ejerce la carga de 6 mm/min, hasta que el penetrador tome contacto con la guía, midiendo la fuerza utilizada.

Seguidamente se determina el valor de la dureza Janka, en kilogramos por centímetro cuadrado, como la carga bajo la cual el penetrador realizó el recorrido máximo.

Se efectúa este procedimiento dos veces sobre las superficies tangencial y radial, y una vez en cada extremo de la probeta, obteniendo un valor promedio de dureza por cada sentido de orientación de las fibras.

La distancia mínima entre las penetraciones es de 20mm para los sentidos tangencial y radial y de 35mm para el sentido longitudinal de las fibras.

Una vez ensayadas las probetas, se procedió a determinar el contenido de humedad según lo establecido en la norma IRAM 9532. Para ello se cortó una porción central de cada una cubicándola con un calibre Vernier con un error de 0,01mm, luego se pesaron utilizando una balanza digital sensible al 0,01g obteniendo el peso húmedo (Ph). Cumplido esto, se colocaron las muestras en una estufa a temperatura ambiente, elevándola paulatinamente hasta alcanzar los 100°C ± 3°C, manteniendo ésta por un lapso de 24 hs, habiendo obtenido un peso constante. Este peso se considera como Ps (peso seco). El contenido de humedad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Resultados

La tabla 1 presenta los valores de contenido de humedad, dureza en la cara o superficie tangencial, dureza en la cara o superficie radial y el promedio entre las dos, por cada probeta ensayada.

Probeta	H	Tm	Rm	Media
	%	Kg	Kg	Kg
D9	11,80%	380,00	310,00	345,00
D8	11,84%	340,00	355,00	347,50
D7	12,74%	380,00	480,00	430,00
D6	11,38%	387,50	290,00	338,75
D5	12,06%	346,00	468,00	407,00
D4	12,58%	340,00	440,00	390,00
D34	11,95%	357,50	405,00	381,25
D33	11,42%	350,00	425,00	387,50
D32	10,98%	440,00	370,00	405,00
D31	12,62%	332,50	335,00	333,75
D30	12,40%	445,00	385,00	415,00
D3	12,09%	370,00	485,00	427,50
D29	11,79%	310,00	402,50	356,25
D28	12,25%	322,50	435,00	378,75
D27	13,10%	515,00	345,00	430,00
D26	12,50%	365,00	417,50	391,25
D25	10,75%	350,00	347,50	348,75
D24	12,37%	325,00	215,00	270,00
D23	12,33%	417,50	400,00	408,75
D22	12,46%	410,00	350,00	380,00
D21	11,23%	435,00	272,50	353,75
D20	9,04%	375,00	360,00	367,50
D2	11,96%	356,00	419,00	387,50
D19	12,47%	365,00	360,00	362,50
D18	12,48%	389,00	398,50	393,75
D17	12,56%	375,00	355,00	365,00
D16	12,45%	365,00	430,00	397,50
D15	13,06%	407,50	440,00	423,75
D14	12,52%	360,00	350,00	355,00
D13	12,61%	340,00	334,00	337,00
D12	12,81%	395,00	470,00	432,50
D11	12,38%	357,00	401,00	379,00
D10	12,40%	361,00	307,00	334,00

Tabla 1: dureza parcial por probetas .
Table 1: partial hardness for each test tube

H: Contenido de humedad; Tm: Dureza promedio en la superficie tangencial; Rm: Dureza promedio en la superficie radial; Media: Dureza Janka

En la tabla 2, se observan los valores promedio del contenido de humedad, dureza tangencial, dureza radial y la media, con sus parámetros estadísticos. El valor medio de dureza Janka resulto ser de 377,60 kg/cm² presentando un desvío estándar de 36,10 y un coeficiente de variación de 0,10%.

Tabla 2: parámetros estadísticos

Table 2: statistical parameters

	H	Tm	Rm	DUREZA
media	0,12	374,67	380,53	377,60
desv	0,01	41,83	62,34	36,10
max	0,13	515,00	485,00	432,50
min	0,09	310,00	215,00	270,00
P 5%	0,12	365,00	385,00	380,00
cov	0,06	0,11	0,16	0,10

H: Contenido de humedad; Tm: Dureza promedio en la superficie tangencial; Rm: Dureza promedio en la superficie radial; Media: Dureza Janka

La tabla 3 expone el valor de la dureza Janka para madera de *Araucaria angustifolia* obtenido, y dicho valor publicado por el Instituto Forestal Nacional y por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial para la misma especie. El valor obtenido resulto ser superior reflejando un aumento del 34,86 % respecto del Instituto Forestal Nacional y del 14,95 % respecto del INTI.

Tabla 3: comparación de la dureza Janka de la especie con otros valores teóricos existentes
Table 3: comparison between the Janka hardness of the species and other existing theoretical values

	EXPERIMENTAL	INST. FORESTAL	INTI
DUREZA Araucaria angustifolia	377,6 Kg/cm ²	280 Kg/cm ²	328,5 Kg/cm ²

La tabla 4 muestra la comparación de la dureza Janka obtenida experimentalmente para madera de *pinoparana* con la dureza Janka del *Pinuselliottii*, del *Pinustaeda* y del *Eucalyptusgrandis* publicadas por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Se observa un aumento en la dureza del *pino parana* del 31,10% por sobre las demás especies que tienen valores similares.

Tabla 4: comparación de la dureza Janka de la especie con las de otras
Table 4: comparison between the Janka hardness of the species and others

ESPECIE	DUREZA
PINO ELIOTI (<i>Pinus elliottii</i>) (2)	288 Kg/cm ²
PINO TAEDA (<i>Pinus taeda</i>) (2)	288 Kg/cm ²
PINO PARANA (<i>Araucaria angustifolia</i>) (1)	377,6 Kg/cm ²
EUCALIPTO GRANDIS (<i>Eucalyptus grandis</i>) (2)	288 Kg/cm ²
(1) valor experimental, (2) Valores del CITEMA – INTI	

La dureza resulto ser del orden de la perteneciente al *Eucalyptus grandis*, pero no alcanzo el valor recomendable para su aplicación en la fabricación de pisos y tableros.

Conclusión

La *Araucaria angustifolia*, es una madera que se encuentra en la categoría de maderas blandas por su dureza según la escala propuesta por Coronel 1995, con un valor de 377,6 kg/cm².

Si bien no alcanza el valor mínimo recomendable de 550kg/cm² para la fabricación de tableros y pisos, podemos concluir que al resultar del orden de otras especies, utilizadas con éxito, como el *Eucalyptus grandis*, sería viable su uso para tal fin.

Agradecimientos

Al Ing. Alfredo AnibalGuillaumet por su apoyo técnico y supermanente colaboración.

Al Dr. Ing. Jacinto Diab por su colaboración.

A todos los docentes y alumnos investigadores del grupo G.I.D.E.C.

Bibliografía

CITEMA – INTI - pág. 1 – hoja 1 – PDF, tabla propiedades. <http://www.inti.gov.ar/maderaymuebles/pdf/pinos.pdf> - 03/04/2012.

CORONEL E.O. – 1995 – “Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas” – El liberal, Santiago del Estero, 2da parte 335pág.

Ficha técnica de especies forestales – Instituto Forestal Nacional.

O USO DA MADEIRA DE *Eucalyptus* spp. NA INDÚSTRIA MOVELEIRA DA MICRORREGIÃO DE DOIS VIZINHOS-PR

USE OF *Eucalyptus* spp. WOOD IN THE FURNITURE INDUSTRY IN THE MICROREGION OF DOIS VIZINHOS-PR

Antonelli, P. V.¹; Santos, M. B. A.¹; Bichel, A.¹; Cechim, F. E.²; Brun, E. J.³

1 - Acadêmicos do curso de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, – Câmpus Dois Vizinhos. CEP 85660-000, Dois Vizinhos (PR). marcielle_bs@hotmail.com, priscynha@hotmail.com, anathan_sulina@hotmail.com.

2 - Biólogo, Mestrando em Zootecnia, Universidade Tecnologia Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos. CEP 85660-000, Dois Vizinhos (PR). flavieira@gmail.com.

3 - Engenheiro Florestal, Dr., Professor do curso de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos. CEP 85660-000, Dois Vizinhos (PR). eleandrobrun@utfpr.edu.br.

Resumo

O gênero *Eucalyptus* possui varias espécies, as quais possuem crescimento considerável e custo relativamente baixo de produção da madeira, sendo que seu principal uso é voltado para papel, celulose e carvão, no Brasil. Na indústria moveleira ainda não possui muita credibilidade devido a algumas propriedades físicas inerentes. O presente estudo teve por objetivo avaliar o grau de uso da madeira de eucalipto na indústria moveleira da microrregião de Dois Vizinhos. Para o estudo, foram visitadas e entrevistadas onze empresas em quatro municípios. Através dos dados obtidos, observou-se considerável utilização do gênero (24%), porém a *Araucaria angustifolia* foi a maior preferida (33%). Dentre os problemas indicados, 72% dos entrevistados reclamam do alto custo da matéria prima e da falta de mão de obra especializada na região. Verificou-se considerável uso das espécies de *Eucalyptus* spp. na microrregião de Dois Vizinhos na indústria moveleira e também insatisfação das empresas em relação a mesma.

Palavras-chaves: Eucalipto, Setor moveleiro, floresta plantada, processamento de madeira.

Summary

The genus *Eucalyptus* has many species, which have considerable growth and relatively low cost of production of wood, and its primary use is intended for paper, pulp and charcoal in Brazil. In the furniture industry does not have much credibility due to some inherent physical properties. The present study aimed to evaluate the degree of use of eucalyptus wood in the furniture industry of the region of Dois Vizinhos. For the study, were visited and interviewed eleven companies in four cities. Using the data obtained, there was considerable use of genus (24%), but the *Araucaria angustifolia* was the most preferred (33%). Among the problems listed, 72% of respondents complained about the high cost of raw materials and lack of skilled labor in the region. There was considerable use of the species of *Eucalyptus* spp. in the microregion of Dois Vizinhos at the furniture industry and also dissatisfactions of companies in relation to it.

Key-words: Eucalyptus, furniture sector, planted forest, lumber manufacturing.

Introdução

O gênero *Eucalyptus* possui cerca de 700 espécies, das quais destacam-se para plantio o *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. deglupta*, *E. citriodora*, *E. exserta*, *E. paniculata* e *E. robusta*. No Brasil, destacam-se também as espécies *E. cloeziana* e *E. dunnii*. Alguns benefícios em suas propriedades físicas, tais como rápido crescimento, características silviculturais desejáveis e fácil adaptação às condições diversas de solo e clima, tornam a madeira desse gênero muito procurada para suprir o mercado madeireiro. Sendo uma árvore de fácil propagação, muito se estuda sobre a utilização das suas propriedades para os mais diversos fins (Ponce, 1997).

Segundo Souza et al. (2009) o uso habitual deste gênero é em indústrias de celulose e energia, onde não há grandes preocupações com a aparência final das tábuas e exigência de diâmetro mínimo para desdobro, fato relacionado às indústrias de construção civil e móveis, principalmente.

A introdução do eucalipto, no Brasil, ocorreu no início do século XIX, com evidências de que as primeiras árvores teriam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (EMBRAPA, 2000). Foi trazido da Austrália e possui características físicas e estéticas bastante diferenciadas.

A eucaliptocultura brasileira tem demonstrado ser uma das mais produtivas, avançadas e competitivas do mundo (Ponce, 1997), e a sua utilização na indústria moveleira e na construção civil se encontra mais evidenciada e com grandes perspectivas (REMADE, 2009). Segundo o IPEF (2006) houve uma evolução nas exportações do setor madeireiro, durante o ano de 2006, envolvendo papel, celulose e painéis, de 4,18%, onde cerca de 1,14% é de madeira serrada.

Em 2004, de acordo com relatório da Bracelpa, foram consumidos pelo setor de celulose e papel 34.113.000 m³ de madeira proveniente de reflorestamento com eucalipto, 2.475.000 m³ pelo setor de geração de energia e 340.000 m³ pelo setor de serraria (Angeli, 2005).

A madeira de eucalipto tem sido usada como madeira serrada em vários países, embora não participe ativamente dessa indústria e da moveleira, pois até o presente momento, não foi seriamente encarado como um recurso adequado para esse fim. Percebe-se assim, ainda, resistência de alguns empresários em utilizar, de forma indiscriminada, a madeira de eucalipto para fabricação de móveis (Menezes, 1998).

Há uma crença bastante lembrada de que o eucalipto racha demasiadamente durante o processamento e mesmo depois, que a madeira deforma anormalmente, e que por essas razões não pode ser economicamente aproveitável (Ponce, 1997). Tal crença se deve, em parte, à presença de certas características desfavoráveis, como elevada retratibilidade, facilidade ao colapso e por apresentar tensões de crescimento que levam a rachaduras e empenamentos. É bem verdade que quase toda a madeira até então utilizada para os usos nobres foi proveniente de plantios voltados para a produção de celulose e carvão, privada dos cuidados especiais anteriormente mencionados (REMADE; 2009).

O eucalipto, de maneira geral, comporta-se como as madeiras normais, devendo ser processado como devem ser a maioria das madeiras, ou seja, com cuidados no desdobro e na secagem (EMBRAPA, 2000). Para melhorar a qualidade da tora de eucalipto, estudos mostram que o desdobro deve ser feito na forma radial, que tem menos possibilidades de apresentar defeitos de secagem, por se movimentar menos. Este método é pouco utilizado por ser mais caro e apresentar menor produção e rendimento de madeira serrada em relação a outros métodos (Garcia, 1988).

O melhoramento genético florestal vem trazendo benefícios para espécies num todo, inclusive para as do gênero *Eucalyptus*, garantindo maior produção e aspectos ansiáveis,

como a qualidade da madeira. Segundo Assis (sd), as áreas de multiplicação clonal, os pomares de sementes e eventualmente os laboratórios de micropropagação compõem os métodos de multiplicação mais utilizados no melhoramento de espécies desse gênero.

Os melhoristas de *Eucalyptus* buscam na hibridação uma forma mais rápida de promover o acréscimo de características florestais desejáveis, pois se trata de uma técnica que possibilita associação de características diferenciadas em espécies importantes, bem como a manifestação de heterose verificada nos cruzamentos entre vários pares de espécies (Assis, sd).

Entretanto, segundo Ponce (1997), alguns aspectos básicos estão se firmando, permitindo assim uma visão bastante otimista quanto à disseminação do uso da madeira desse gênero, porém a preferência das indústrias é pelo uso de madeiras oriundas de florestas nativas, as quais possuem características diferentes da madeira de eucalipto.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso da madeira de espécies de *Eucalyptus* spp. na região de Dois Vizinhos, procurando conhecer aspectos relacionados ao seu aproveitamento para a indústria moveleira e aos problemas que a mesma enfrenta com relação a esse uso, além do grau de satisfação das empresas do setor com a madeira das espécies deste gênero.

Materiais e métodos

Caracterização dos municípios estudados

O presente trabalho caracterizou-se por uma pesquisa a campo, na microrregião de Dois Vizinhos, a qual situa-se no sudoeste do Paraná. Os municípios da referida microrregião são Dois Vizinhos, Boa Esperança do Iguaçu, Cruzeiro do Iguaçu e São Jorge d'Oeste.

Segundo o IBGE (2007), Dois Vizinhos possui cerca de 36.179 habitantes, com uma extensão territorial de 419,017 km². Destaca-se economicamente no setor da agricultura com a Cooperativa Agroindustrial do Sul (COASUL), e no setor industrial e comercial com a empresa Sadia S.A. (Dois Vizinhos, 2009). O município produz cerca de 9 toneladas de *Ilex paraguariensis* (Erva mate) e 210 m³ de *Araucaria angustifolia* na forma de madeira em tora. Sua produção de lenha chega a 91.300 m³ e outras madeiras em tora a 26.000 m³ ao ano (IBGE, 2009).

O município de Boa Esperança do Iguaçu possui cerca de 2.866 habitantes, área aproximada de 152 km², e economicamente há grande participação da agropecuária se comparado a outros fatores como a indústria (IBGE, 2007). Seu rendimento anual de lenha aproxima-se a 21.500 m³ enquanto a madeira em tora é de apenas 12.116 m³, levando-se em conta que a produção de madeira em tora de *Araucaria angustifolia* chega a 300 m³ (IBGE, 2009).

De acordo com o IBGE (2007), Cruzeiro do Iguaçu é um município onde a economia está baseada na agropecuária, no setor de serviços e na indústria, que colabora com uma pequena parcela da renda local. Possui cerca de 4.278 habitantes e uma área de 162 km². Segundo o Censo agropecuário realizado pelo IBGE em 2009, o município produz 27.900 m³ de lenha e apenas 4.760 m³ de madeira em tora, anualmente.

Em São Jorge d'Oeste, a economia é baseada na exploração da criação de gado de corte e leite, frangos de corte, suínos, milho, trigo, feijão, soja (IBGE, 2007). E nos últimos anos o turismo intensificou-se, devido aos Lagos do Iguaçu (Represamento da Hidrelétrica de Salto Osório), que se tornou um polo turístico no Sudoeste do Paraná. Há cerca de 9.085 habitantes, com uma dimensão territorial de 380 km². O município também produz cerca de 32 toneladas de *Ilex paraguariensis* (Erva mate) por ano, quantidade significativa se comparado com Dois Vizinhos, a produção de pinhão igualmente destaca-se por chegar a

quantidade de uma tonelada. A produção de lenha alcança em torno de 6.671 m³ e de madeira em tora é de 8.916 m³, ambas anualmente.

Coleta de dados

A coleta dos dados foi realizada nos meses de outubro e novembro de 2010, utilizando-se de um questionário elaborado pela própria equipe. Foram visitadas onze empresas produtores de móveis, todas de pequeno porte, aplicando-se a seguintes questões aos empresários: qual a procedência da madeira utilizada (eucalipto, pinus, araucária e outras espécies), se há matéria prima suficiente para o abastecimento de sua demanda, quais as dificuldades enfrentadas pelos mesmos que prejudicam a produção da indústria e quais seriam as espécies de interesse dos entrevistados para plantio na microrregião, visando o melhor abastecimento futuro da sua demanda, com madeira de qualidade.

Os dados coletados foram sistematizados em planilha Excel e foram analisados quanto a frequência relativa das respostas para cada quesito avaliado dentro de cada questão. Os dados obtidos foram interpretados e discutidos visando oferecer subsídios para o desenvolvimento desse setor em nível regional.

Resultados e discussão

Atualmente a madeira proveniente do gênero *Eucalyptus* é usada para vários setores, incluindo o moveleiro. Porém, o uso da madeira de eucalipto ainda não se tornou unanimidade dentro desse setor, alegando-se que a madeira possui características que designam maior importância em outros setores relacionados a produtos florestais.

Dentro do setor de papel e celulose, as qualidades físicas, químicas e anatômicas são indispensáveis para seu uso. Dependem tanto da espécie como das práticas silviculturais (Gomide, 1986).

Para o setor moveleiro da região de Dois Vizinhos, a Figura 1 mostra que ainda é bastante utilizada a madeira proveniente de florestas nativas (57%) no setor moveleiro, reunindo esse grupo de espécies a *Araucaria angustifolia* e outras nativas de interesse que possuem, segundo a opinião dos empresários, melhor rendimento, qualidade, beleza, durabilidade e fácil trabalhabilidade.

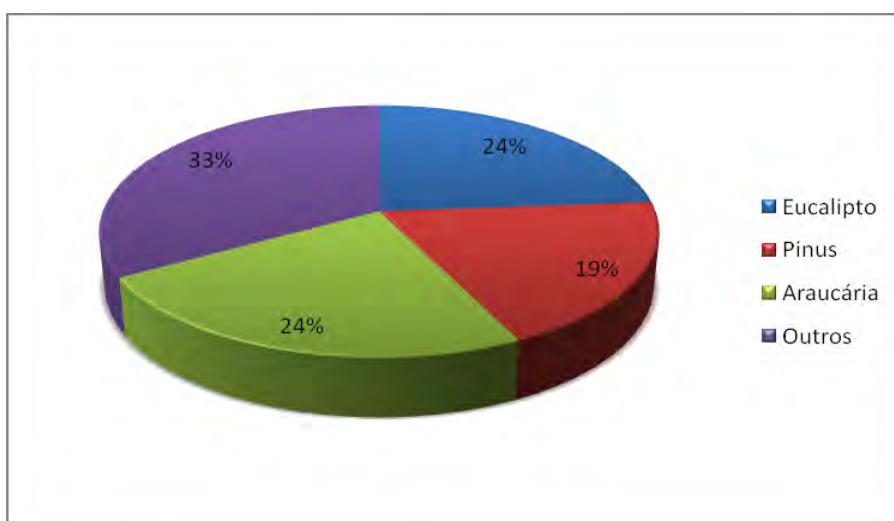


Figura 1: Grupos de espécies florestais que dão origem à matéria prima utilizada nas empresas moveleiras da microrregião de Dois Vizinhos, 2010.

Figura 1: Groups of forest species that give source to the raw material used in furniture companies in the microregion of Dois Vizinhos, 2010.

Ao contrário do que se esperava, verificou-se uma considerável utilização do eucalipto no setor moveleiro na microrregião de Dois Vizinhos, representando 24% do total de madeira usada na fabricação de móveis, sendo maior que o uso da madeira de espécies do gênero *Pinus*, que apesar da fácil trabalhabilidade da madeira, a matéria prima disponível na região é em sua maioria de baixa qualidade, tanto em função de dimensões como de problemas de secagem, o que causa manchas diversas originadas por fungos.

De acordo com a pesquisa, o uso da madeira de eucalipto para a produção de móveis não satisfaz as empresas, contrariando Teixeira et al. (2009), pois os empresários alegam que a madeira racha facilmente e é necessário um procedimento diferenciado, o que ocasiona maior custo de processamento dessa madeira.

Outro questionamento apresentado aos entrevistados quanto à suficiência de matéria prima para a indústria moveleira na microrregião, dados apresentados na Figura 2.

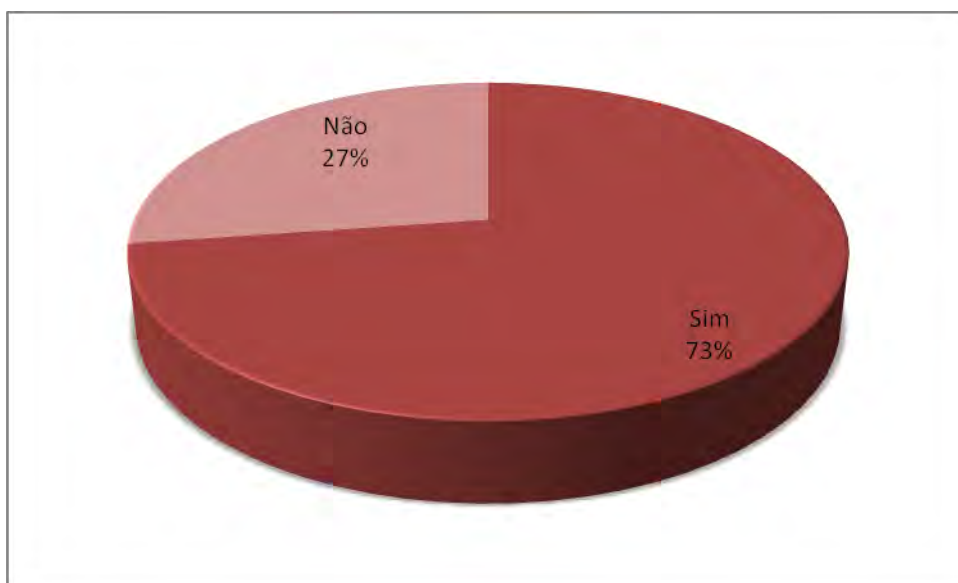


Figura 2: Opinião dos entrevistados quanto à suficiência de matéria prima para a indústria moveleira da microrregião de Dois Vizinhos, 2010.

Figura 2: Opinion of respondents about the adequacy of raw materials for the furniture industry of the micro region of Dois Vizinhos, 2010.

De acordo com a Figura 2, a maior parte do grupo entrevistado, 73%, considera a matéria prima suficiente para o setor moveleiro da micro região de Dois Vizinhos. Nesse caso, é possível de se observar um contrassenso entre a opinião dos entrevistados e a realidade observada, uma vez que deve-se considerar que a madeira utilizada na região, principalmente para a área moveleira, não é da região mas sim importada de outros estados como Rio Grande do Sul, Santa Catarina e outras regiões do Paraná (principalmente madeiras de florestas plantadas) e Mato Grosso, Rondônia, Pará, entre outros estados da região Norte do Brasil. Portanto, ao afirmar que a matéria prima é suficiente, os empresários demonstraram não estar informados quanto ao contexto regional de oferta de matéria prima. Cabe dizer que os altos preços pagos pela mesma, assunto abordado na sequencia desse trabalho, é justamente decorrente da falta de matéria prima disponível regionalmente, o que leva à busca de madeiras em regiões distantes como as citadas, com altos custos de frete.

Segundo os entrevistados, os principais problemas indicados para as indústrias de móveis na região de Dois Vizinhos são: o alto custo da matéria prima e a falta de qualificação da mão de obra (Figura 3). O custo elevado da matéria prima é explicado pela falta de oferta desta na região, pois, um dos itens que encarece muito os produtos, é o deslocamento que este

percorre. Assim, há uma contradição na opinião do grupo entrevistado ao afirmarem que a oferta de madeira é suficiente para a região ao mesmo tempo em que reclamam do preço que este produto possui.

As empresas moveleiras da região sofrem com esse aspecto, uma vez que a grande maioria dos plantios florestais realizados visam a produção de energia para o setor agroindustrial, não havendo oferta de madeira em dimensões e qualidade adequada para uso em movelaria. A resolução desse problema não é passível de ser buscada a curto prazo, uma vez que a pesquisa com a introdução de materiais genéticos adequados, a sua propagação e o manejo correto dos plantios para essa finalidade são ações em estágio inicial na região e que demandam ainda de alguns anos para que os primeiros resultados concretos possam ser percebidos ao nível de cadeia produtiva.

Outros problemas que foram levantados pelos empresários no estudo foram as dificuldades burocráticas para empréstimos bancários para investimentos nas indústrias do setor e para o corte de espécies nativas plantadas, também foram indicados.

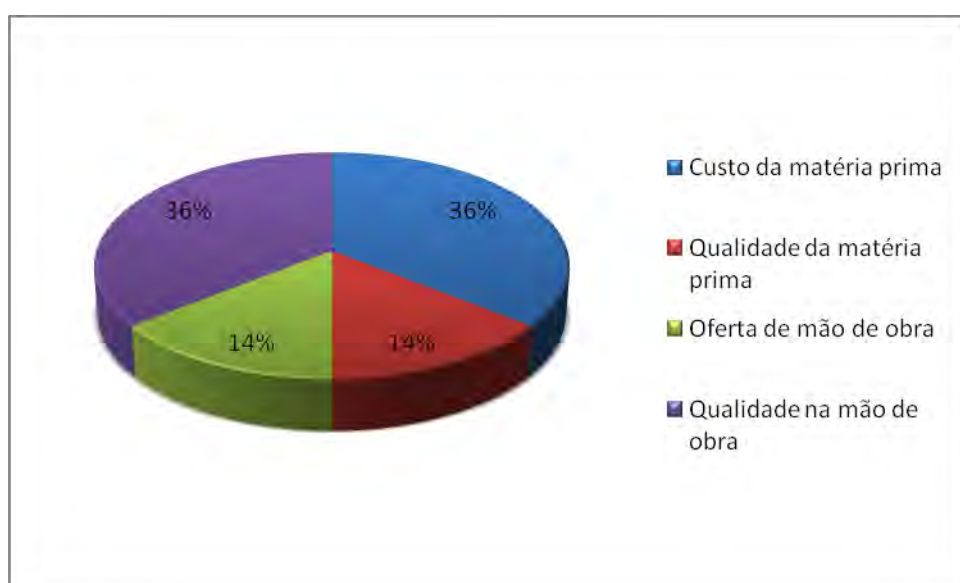


Figura 3: Principais problemas encontrados no setor moveleiro da microrregião de Dois Vizinhos, segundo os entrevistados, 2010.

Figura 3: Main problems found in the furniture sector in the micro region of Dois Vizinhos, according to respondents, 2010.

Até o momento podemos perceber que o eucalipto não foi encarado seriamente como um recurso adequado para produção de móveis, ao passo que os moveleiros da região pesquisada apoiam o plantio de espécies madeireiras nativas, destacando a preferência pela *Araucaria angustifolia* (Figura 4). De acordo com a Figura 4, 17 % dos entrevistados indicam espécies madeireiras nativas para reflorestamento na região, provavelmente isso ocorre devido à falta de informação, tabus sobre a madeira de eucalipto e a disponibilidade de madeiras nativas, até o momento, mesmo vindas de regiões distantes e apresentando alto custo por unidade.

Deve ser considerado também o fato que a valorização das espécies nativas tem seus fatores positivos, desde que essa situação seja entendida na forma de incentivo ao plantio de florestas com essas espécies ou pelo manejo sustentado de remanescentes florestais naturais. As empresas da área moveleira se acostumaram, principalmente as mais antigas, ao trabalho com madeiras nobres de espécies nativas, sendo daí decorrente também a resistência ao uso do eucalipto, em muitos casos com razão, uma vez que os plantios na região de Dois Vizinhos não são, em sua grande maioria, adequados a produção de toras de qualidade, tanto em

relação a material genético e também às técnicas de implantação e manejo utilizadas, com espaçamentos pequenos, baixo grau de melhoramento genético das mudas, ausência de adubação, pouco controle de pragas e invasoras, ausência de desramas, entre outros problemas.

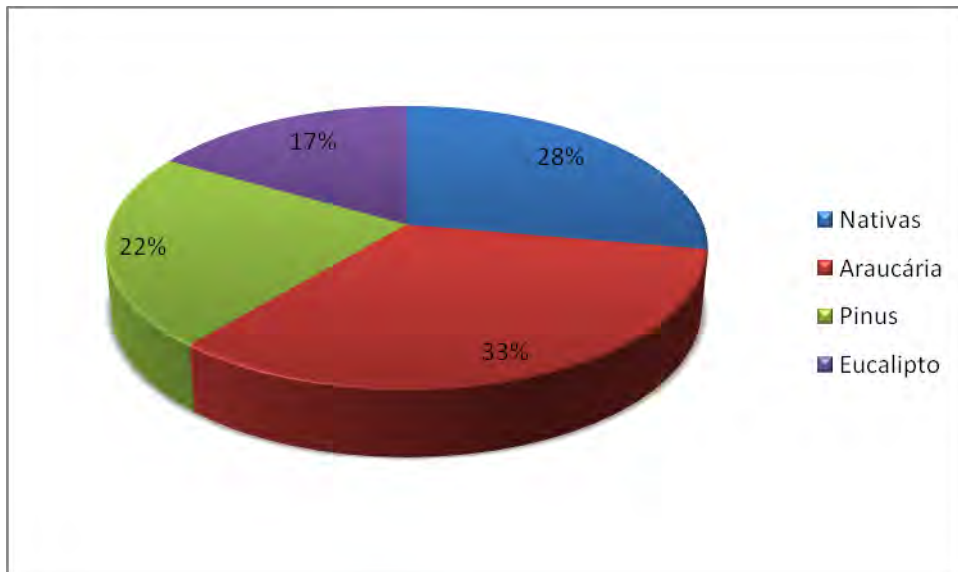


Figura 4: Espécies para plantio que os moveleiros da micro região de Dois Vizinhos preferem, 2010.

Figura 4: Species for planting the furniture manufacturers of the micro region prefer Dois Vizinhos, 2010.

O eucalipto realmente apresenta algumas características que dificultam seu aproveitamento, além de exigir equipamentos específicos, em seu processamento, para atingir alta produtividade (Ponce, 1997). A esse fato, soma-se ainda a falta de conhecimentos tecnológicos, sendo apontados como principais barreiras à utilização econômica da espécie para a indústria moveleira (REMADE, 2007). Porém, segundo o estudo de Souza et al. (2009), o clone de *Eucalyptus urophylla*, apresentou bom desempenho revelando grande potencial de uso para produção de móveis.

É fato a necessidade de valorização das espécies nativas, porém também é fato que esse problema não será resolvido da noite para o dia, necessitando de prazos mais longos para que o processo de seleção, testes e divulgação de novas tecnologias seja realizado. Em função disso, o uso da madeira de eucalipto, de crescimento rápido e aproveitamento considerável, dependendo da espécie e seu manejo, é prática fundamental até que seja viável economicamente o retorno ao manejo racional de florestas nativas ou que se estabeleçam plantios competitivos com essas espécies.

Conclusões

Foi possível verificar considerável uso das espécies de *Eucalyptus* spp. na microrregião de Dois Vizinhos para a indústria moveleira. Observou-se também a insatisfação das empresas à madeira do eucalipto devido à mesma apresentar características que não são interessantes para este fim, como alta retratibilidade, exigência de processamento diferenciado, e não apresentar características atraentes como as madeiras provindas de floresta nativa.

Referências

- ANGELI, A. **Indicações para Escolha de Espécies de Eucalyptus**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais: IPEF, 2005. Disponível em: <(<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>)>. Acesso em: 28 de Setembro de 2011.
- ASSIS, T. F. Melhoria Genética do Eucalipto. Eng. Florestal, M.S.; Consultor de Melhoria Genética/Riocell S.A. Guaíba, RS, sd.
- DOIS VIZINHOS. Município de Dois Vizinhos. Disponível em: <(<http://www.doisvizinhos.pr.gov.br/2009/dadosgerais.asp>)>. Acesso em 27 de Setembro de 2011.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Características da Madeira de Algumas Espécies de Eucalipto Plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p.
- GARCIA, J. N. Processamento mecânico do Pinus e Eucalyptus. Piracicaba: ESALQ/DCF,1988. 20p.
- GOMIDE, J. L. Produção de celulose e papel com madeira de eucalipto. Informe agropecuário. Belo Horizonte: Litera Maciel, 1986.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE cidades. 2007. Disponível em: <(<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>)> Acesso em: 27 de setembro 2011.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>. Acessado em: 05 de outubro de 2011.
- IPEF, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Exportações do setor florestal brasileiro em 2006. Piracicaba, São Paulo. 2006.
- MENEZES, L. F. Desdobro, secagem e beneficiamento da madeira de eucalipto – a experiência da Flosul. In: Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia. Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem E Utilização da Madeira De Eucalipto. Belo Horizonte, Anais Viçosa: SIF, 132 p.; 1998.
- PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. Seminário internacional de utilização de madeira de eucalipto para serraria. Anais. São Paulo, 1997.
- PONCE, R. H.; Eucalipto: uso alternativo da madeira. Informe agropecuário. Belo Horizonte: Litera Maciel, 1997.
- REMADE - Revista da madeira. Mercado aponta uso do eucalipto para móveis. Ed. 103 Mar. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1053&subject=Eucalipto&title=Mercado%20aponta%20uso%20do%20eucalipto%20para%20m%C3%B3veis>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.
- REMADE - Revista da madeira. Uso de madeira de florestas plantadas cresce 7% ao ano. 2009. Disponível em: <(<http://www.remade.com.br/br/noticia.php?num=3541&title=Uso%20de%20madeira%20de%20florestas%20plantadas%20cresce%207%20ao%20ano>)> Acesso em: 27 de setembro de 2011.
- SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M. D.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da Madeira de Eucalyptus Camaldulensis Dehnh e Eucalyptus Urophylla S.T. Blake em Ensaios de Usinagem, Visando à Produção Moveleira. Revista Árvore, Viçosa, Minas Gerais, v.33, n.4, p.751-758, 2009.
- TEIXEIRA, T. O. B. ; SILVA, N. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; SILVA, J. C.; PIRES, V. A. V.; A percepção sobre o uso da madeira de eucalipto pelos fabricantes do polo moveleiro de Ubá Minas Gerais. R. Árvore, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.969-975, 2009.

IMPREGNACIÓN DE MADERA DE *Pinus taeda* DE ORIGEN COMERCIAL CON RESINA PLÁSTICA

IMPREGNATION OF *Pinus taeda* WOOD, FROM COMMERCIAL SOURCES, WITH A PLASTIC RESIN

Argüelles y Andrés, T.¹; Suirezs, T.¹; Bobadilla, A.¹

¹Profesoras de la carrera de Ingeniería en Industrias de la FCF .UNaM. Eldorado.

arguelles@facfor.unam.edu.ar

Resumen

Probetas de origen comercial de *Pinus taeda*, se impregnaron con una solución de un plástico disuelto en un solvente de pinturas (thinner). Se determinó mediante peso la cantidad de sustancia plástica que había impregnado las probetas, y se verificó que el material no lixiviaba de las mismas. Las probetas se sometieron durante el periodo de un año a condiciones de intemperismo, enterrándolas por su mitad en dos jardines distintos de la localidad de Eldorado, en la provincia de Misiones. Después de ese tiempo las probetas tratadas estaban prácticamente intactas, no habiendo sufrido daño por microorganismos u otros agentes.

Palabras clave: *Pinus taeda*, preservación, impregnación

Summary

Pinus taeda probes of commercial origin were impregnated with plastic, using thinner as solvent. The amount of substance retained by the probe was determined by weight, and the lack of lixiviation was corroborated. The probes were bury up to their middle part in two gardens situated in the Eldorado city, in the Misiones province. They were kept one year in that condition. After the year, the treated probes were practically intact, no damage due to microorganisms or other causes was noticed.

Key words: *Pinus taeda*, preservation, impregnation

Introducción

Cuando se forma la madera en el árbol vivo, se originan dos tipos principales de células; unas de ellas con pared celular gruesa que pronto mueren, pierden el contenido citoplasmático y se especializan en la conducción de agua. Las otras componen el parénquima; de pared celular delgada, actúan como reservorios de alimentos (azúcares,

almidón, aminoácidos y proteínas). Estas últimas células se mantienen vivas durante mucho tiempo.

Cuando el árbol se corta e inmediatamente después la madera se seca en secaderos, las células vivas del parénquima mueren y las reservas que contienen quedan en las células. Ambos materiales, las reservas de las células del parénquima y los polímeros de la pared de los vasos, son sustrato para el alimento de hongos, bacterias y artrópodos (Findlay, 1967). Ahora bien, lo ideal para preservar la madera de su ataque es mantener el contenido de humedad de ésta por debajo del 20 % (Findlay, 1962).

Esto es posible solamente en ciertos climas. En el resto del mundo, para preservar la madera del ataque de formas vivas, hay que protegerla, de lo contrario la madera se deteriora, perdiendo densidad, masa, resistencia, tornándose inútil (Feist, 1982).

Otro factor, no menor, causa de deterioro de la madera es el intemperismo, dentro del cual podemos distinguir el daño producido por la luz Ultra Violeta (UV) (Ranby, 1975).

La preservación con compuestos químicos que resultan venenosos para hongos e insectos es adecuada, pero no elimina el daño por la luz UV, además, su manipulación es peligrosa y genera restos de material que a su vez presentan un problema para su eliminación.

El tratamiento ideal para preservación debería incluir un material que evite que la madera tome humedad, con lo que se evita el ataque de microorganismos y artrópodos, y que forme una capa que frene la acción de la luz UV sobre la superficie, material que no lixivie del material tratado, para minimizar el impacto ambiental que pudiera presentar el producto (Hut 1967).

Los objetivos de este trabajo fueron: Mejorar la resistencia de la madera frente a microorganismos. Disminuir la degradación o el desgaste por el uso y la exposición a la intemperie. Habiendo encontrado un tipo de plástico comercial, que se disuelve fácilmente en un solvente orgánico, se utilizó dicha solución para impregnar madera de *Pinus taeda*. Este trabajo relata los procedimientos utilizados y los resultados obtenidos.

Materiales y métodos

Se utilizaron probetas de madera de *Pinus taeda* de 16 años de edad, de origen comercial, de dimensiones 15x5x5 cm, que se secaron en horno de microondas previo a la impregnación, a máxima potencia de 800 watts/hora durante tres periodos de 5 minutos, separados por periodos de 30 minutos, para permitir la disminución de temperatura interna de las probetas (Arguelles 2009, 2010). Terminado el proceso se dejaron reposar durante 6 horas sobre la mesada del laboratorio y se calculó la humedad relativa por método gravimétrico (Antti, 1995).

Se probaron distintos materiales para impregnar, y se tomó la decisión de utilizar una resina plástica, un envoltorio plástico de un producto alimenticio, que se disuelve bien en solvente orgánico (tinner).

Se habían probado distintas formas de impregnar, con y sin vacío (Hon 1981), no habiendo encontrado diferencias en cuanto al peso de impregnante absorbido, por lo que estas probetas se impregnaron a presión ambiental, en recipiente cerrado, sumergiendo las probetas en el líquido impregnante por su cara transversal. Después de una semana se dio vuelta a las probetas, permitiendo el contacto con el líquido por la otra cara. El nivel del

líquido se mantuvo constante durante las dos semanas, después de lo cual se airearon para la eliminación del solvente. Una vez eliminado el solvente la cantidad de impregnante absorbido en la madera se determinó mediante gravimetría (I.R.A.M. 9532).

Para determinar la cantidad de agua que el material impregnado absorbía, seis probetas impregnadas y 3 sin impregnar, que habían sido pesadas, se mantuvieron 7 días en inmersión, después de lo cual se dejaron sobre una rejilla para escurrir el líquido superficial durante dos horas, y se pesaron.

Para determinar la cantidad de impregnante que pudiera lixiviar de las muestras, se colocaron 5 g aserrín de una cara tangencial, dentro de un envase con tapa de 100 mL, se agregó 50 mL de agua destilada y se agitó mecánicamente durante 30 minutos. Finalizado el proceso se filtro a través de papel tarado, con ayuda de vacío, recogiendo cuidadosamente todo el aserrín. Paralelamente se efectuó el mismo ensayo con aserrín de probetas no impregnadas.

Los ensayos de durabilidad se efectuaron con 20 probetas impregnadas y seis probetas sin impregnar las que se enterraron en tierra en forma longitudinal hasta su mitad (8 cm aproximadamente) en los jardines de dos localidades diferentes, en la ciudad de Eldorado, manteniendo el terreno alrededor de ellas relativamente libre de malezas y pasto, permitiendo que la luz solar incidiera sobre la superficie no enterrada. Las probetas se enterraron, compactando bien la tierra alrededor de ellas. En estas condiciones se mantuvieron 365 días, marzo del año 2010 a marzo del 2011, al cabo de los cuales se desenterraron y evaluaron.

Resultados

El contenido en humedad de las probetas que se utilizaron para la impregnación, medido según materiales y métodos, osciló entre el 7 y el 12 % y nunca fue mayor al 12% en peso.

La absorción de agua después de 7 días de inmersión en agua de las probetas impregnadas fue un 47% menor que los controles.

Se detectó una muy pequeña diferencia de peso en el aserrín, entre antes y después del ensayo de lixiviación. Pero encontramos una diferencia mayor en los controles, por lo que inferimos que el lavado del aserrín con agitación, elimina sustancias (almidones, extractivos) de la madera no tratada, que en la madera impregnada parecen estar más “secuestrados”.

No se visualizaron cambios en la forma o en el volumen de las probetas impregnadas, una vez eliminado el solvente.

Tabla 1. Peso de las probetas y porcentaje de impregnante absorbido
Table 1. Probe weights and amount of substance retained, as percentage

	Media	Des. Est.
Peso probetas sin impregnar (g)	188,7	25,77
Peso probetas impregnadas (g)	192,3	27,10
Peso del impregnante absorbido (g)	3,795	3,27

Las probetas se pesaron una vez desenterradas, los valores de los pesos obtenidos fueron extremadamente erráticos, por lo que no se consignan en este trabajo. La evaluación del ataque a las probetas de madera fue visual, se consideró que la madera no tratada fue atacada en un 70%. Los resultados del deterioro causado por el intemperismo y los agentes biológicos se pueden apreciar en las imágenes siguientes.



Imagen 1. Fotografía general de las probetas. Las seis probetas de la parte superior, ubicadas a la izquierda son los controles.

Picture 1. General view of the probes. The six probes on the top-left are controls



Imágenes 2 y 3. Se observa el detalle del deterioro. Una de las probetas impregnadas (derecha) aparece atacada por un hongo de hifas blancuecinas que no ha podido causar daño a la integridad de la pieza.

Pictures 2 and 3. The decay is shown. One of the impregnated probes (right) appears attacked by a white hipae fungus, that does not seem to have harmed the wood.



Imagen 4. Visión de la superficie transversal. Izquierda: probetas no tratadas. Derecha: probetas tratadas.

Picture 4. Transversal surface of the probes. Left: control probes. Right: impregnated probes.

Conclusiones

No hubo lixiviación de la sustancia impregnada, por lo que estas maderas no causarían daño medio ambiental, ni en el momento de impregnarlas, o después, en el uso. Sin embargo se debe tener precaución, ya que no se ha probado las posibles sustancias que pueden originarse durante la combustión, es una parte del trabajo que se va a probar en el futuro. El material impregnado absorbe una menor cantidad de agua, aparentemente esa sería la causa de la resistencia a la degradación que muestra dicho material. Ensayos preliminares nos indican que la resistencia a los rayos U.V. también se ve mejorada. En las probetas tratadas, la durabilidad frente a la acción de microorganismos y artrópodos que atacan la madera fue demostrada.

Bibliografía

- Antti, A. 1995. Microwave drying of pine and spruce. *Holz Roh-Wertoff* 53 : 33-338
- Argüelles, T.; Barth J.; Barth, R.. 2009. Aplicación de la tecnología de microondas al secado de madera de *Pinus taeda* XIII Congreso Forestal Mundial. 18-23 Octubre.
- Argüelles, T.; Barth J.; Barth, R.. Callaba, R. Bobadilla, E. 2010. Estudio del secado de probetas de madera de *Pinus taeda* mediante el uso del horno de microondas. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Mendoza. Marzo.
- I.R.A.M. 9532. 1973 (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Metodo de Determinación del Contenido en Humedad
- Feist, W.C.1982. en "Structural use of Wood in adverse environments" Meyer y Kellogg eds. Van Nostrand Reinhold. New York. ; pp. 156 – 68
- Findlay, W. P.K., 1967. Timber pests and diseases. Oxford, Pergamon Edts.
- Findlay, W.P.K. 1962. The preservation of timber. London A. y C. Black Edts.
- Hon, D.N.S. 1981. en "Developments in Polymer degradation" Grassie N. Ed.; Applied Science Publishers. Chap. 8
- Hut, G.M. y Garrat, G.A. 1967. Wood preservation. 2nd edition. London McGraw-Hill Edts.

Ranby, B. y Rabek, J.F. 1975. Photodegradation, Photooxidation and photostabilization of polymers. John Wiley and sons, New York, pp 6

**DENSIDAD DE LA MADERA DE *Pinus taeda* L. IMPLANTADO EN LA ZONA
MISIONES – NORESTE CORRIENTES, ARGENTINA, EN SENTIDO
LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL**

**WOOD DENSITY OF *Pinus taeda* L. IMPLANTED IN MISIONES-NE CORRIENTES,
ARGENTINA, ON LONGITUDINAL AND TRANSVERSE DIRECTIONS**

**Barth, S. R.¹; Fassola H. E. ¹; Crechi, E. ¹; Keller, A. ¹; Winck, R. A. ¹; Figueredo, E. I¹;
Knebel O. E. ¹**

¹Técnicos INTA EEA Montecarlo. Av. El Libertador n° 2472. C. P.3384. Montecarlo Misiones. E-mail:
sbarth@montecarlo.inta.gov.ar

Resumen

Con el objetivo de conocer la variación de la densidad básica de la madera en plantaciones de *Pinus taeda* L. implantado en la región Misiones – Noreste Corrientes, Argentina, se obtuvieron muestras de madera provenientes del apeo y trozado de 106 árboles. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas en la densidad básica de la madera, la cual presentó un valor promedio de 0,35 g/cm³ a edades de 3 a 15 años y de 0,39 a edades de 20 años a más; presentándose un desvío estándar de 0,01 y 0,02 g/cm³ respectivamente. A un nivel de confianza del 99 % se presenta una relación estadísticamente significativa entre densidad y altura relativa y según distancia del leño a la médula de la troza. De forma general, la densidad básica de la madera disminuyó con la altura asociándose de manera negativa con las mejores condiciones de crecimiento evidenciadas a través del análisis dendrocronológico de las trozas.

Palabras clave: Densidad básica, variación, edad, distancia a la médula, altura, modelo.

Summary

With the aim to know the variation of wood basic density from plantations of *Pinus taeda* L. implanted in Misiones- NE of Corrientes, Argentina, samples taken from felling and logging of 106 trees were obtained. Results from this study showed statistically significant differences in basic wood density which presented a mean value of 0,35 g/cm³ at ages from 3 to 15 years and 0,39 for ages of 20 years on; showing a corresponding standard deviation of 0,01 and 0,02 g/cm³. At a confidence level of 99% it is shown up a statistically significant relation between density and relative height and between distances from wood sample to pith of log. In general, wood basic density diminished with height associating negatively with the best conditions of grow evidenced through dendrochronological analysis of logs.

Key words: basic density, variation, age, distance to pith, relative height, model.

Introducción

La caracterización de las propiedades de la madera proporciona información sobre su trabajabilidad en la industria permitiendo también definir sus potenciales mercados. Desde un punto de vista comercial es habitual presentar valores únicos para cada propiedad. Es importante tener en cuenta que en estos casos las cifras sufren importantes variaciones tanto por influencias externas como por las peculiaridades internas de la anatomía de sus células. La madera de cualquier especie, presentará características distintas de acuerdo con la calidad del

sitio en el que fue implantada y la silvicultura aplicada. Dentro de un mismo árbol, las propiedades de su madera varían considerablemente tanto a lo largo del eje del tronco, como dentro de una misma sección, en sentido radial. En general cuando la densidad de la madera aumenta, también lo hacen sus propiedades de resistencia. Por lo tanto, es necesario emplear, en cada caso la madera más adecuada y para ello es de suma importancia el contar con herramientas que nos permitan inferir la densidad básica de la madera según su patrón de variación. Cuando el forestador debe hacer frente a un sector competitivo, con demandas cada vez más exigentes, costos y precios cada vez más ajustados y exigencias de productos de mayor calidad, la aplicación de nuevas tecnologías es una obligación y una necesidad. Desde esta óptica, el manejo forestal implica “efectuar la intervención correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso”. Hasta el momento se pensaba solamente en producción: ¿Cuántos m³/ha de madera obtengo de mi bosque? Esto hoy en día ya no es suficiente. Necesitamos desglosar esa producción en m³/ha de determinada calidad de madera, con ciertas propiedades físico-mecánicas.

La posibilidad de uso de la madera está determinada en gran medida por sus características tecnológicas, siendo en este sentido la densidad básica de la misma una de las propiedades físicas de mayor relevancia para referir su grado de calidad, ya que influye sobre el rendimiento y calidad del producto final (Einspahr *et al.*, 1969). Por otra parte no es posible determinar la productividad total de biomasa de un rodal sin conocer a priori la densidad básica promedio de su madera. (Zobel y Talbert, 1989).

En contrapartida a su importancia, la densidad básica de la madera presenta una amplia variación debida a factores internos y externos. La densidad posee además un patrón de variación con la edad y la altura, de tal manera que durante los primeros años el árbol produce madera con anillos de crecimiento anchos, donde hay una mayor proporción de madera temprana de baja densidad. Respecto a la altura, de manera general, la densidad es mayor en la base y va disminuyendo hacia la copa (Megraw, 1985). Por lo expresado anteriormente resulta de importancia poder estimar la densidad básica de la madera a través de métodos rápidos, simples y precisos.

Pinus taeda constituye en la región una especie de importancia dada la extensa superficie implantada y su potencialidad de uso tanto para construcción como carpintería en general. Siendo necesario ampliar los conocimientos existentes sobre las propiedades físicas de la madera de dicha especie, se planteó como objetivo de investigación determinar la variación en la densidad existente en función a la edad del árbol, distancia a la médula y altura. Con la información obtenida se procedió al ajuste de un modelo matemático que permite predecir la densidad básica en función a las variables antes mencionadas.

Materiales y métodos

El material analizado provino de árboles de 3, 5, 7 y 10 años cultivados en Misiones (zona costera al Río Paraná) y Norte de Corrientes, Argentina y 15, 20, 22 y 25 años procedentes del área norte de Misiones (departamentos Montecarlo a Iguazú).

En los rodales de las distintas edades y zonas se midieron parcelas a fin de caracterizar la masa forestal procediendo luego al apeo de un mínimo de seis árboles en cada una de ellas considerando dos árboles dominantes, dos codominantes y dos dominados (Köhl *et al.*, 2006).

En la tabla 1 se presentan los valores promedio de las variables de caracterización de la masa forestal considerada por zona y edad.

Tabla 1. Descripción de la muestra considerada. Valores promedio discriminados según edad y zona.

Table 1. Sample description. Average values discriminated by age and region.

Zona	Edad (años)	n individuos apeados	Dap (cm)	H (m)	G (m ² /ha)	N / ha	FE (%)
Norte Misiones	3	6	7,7	4,7	5,6	1130	51
	5	6	13,3	8,6	21,2	1400	25
	7	6	20,1	11,9	15,3	470	37
	10	6	29,7	18,1	29,8	423	26
	15	6	31,0	21,6	26,7	350	24
	20	13	37,6	25,6	25,7	229	26
	22	6	38,5	25,4	26,6	225	26
Centro Misiones	25	6	39,1	27,3	29,1	238	23
	3	6	9,1	5,3	5,6	857	59
	5	6	15,6	9,34	8,1	417	50
	7	6	19,8	11,9	13,2	427	40
Norte Corrientes	10	9	35,2	21,8	22,5	227	30
	3	6	7,9	4,8	6,9	1350	46
	5	6	15,0	9,2	16,8	950	32
	7	6	18,8	11,7	17,9	625	33
	10	6	25,7	16,5	40,4	750	21

En total se apearon y trozaron 106 individuos. Para la obtención de las probetas de determinación de densidad básica se trabajó con obtención de discos de 2 cm de espesor desde la base del árbol hasta llegar a los 5 cm de diámetro en el fuste. Dadas las exigencias de las distintas empresas que facilitaron el material, el trozado se realizó en largo variable por lo que se optó por analizar altura de corte como altura relativa ($hr = hc/ht * 100$). En campo cada uno de los discos obtenidos fue debidamente identificado para su posterior traslado a laboratorio. De cada disco se separó el listón central de 2 cm de ancho del que se extrajeron las probetas de 2 cm de lado según norma IRAM 9544. Previo al seccionamiento del material se realizó el análisis dendrocronológico (número de anillos y distancia a la médula a diferentes alturas relativas) de los discos en direcciones perpendiculares (mayor y menor diámetro) a fin de poder trabajar con valores promedio. Las probetas obtenidas fueron sumergidas en agua hasta alcanzar el punto de saturación obteniéndose su volumen saturado y posteriormente llevadas a estufa a 103 ± 2 °C hasta alcanzar peso constante para determinar peso seco.

Para determinar la densidad básica de la madera se empleó la relación Densidad básica (g / cm^3) = Peso seco (g) / volumen saturado (cm^3).

El tiempo de inmersión requerido para que las probetas alcancen su punto de saturación fue de una semana. El volumen saturado fue determinado aplicando el principio de Arquímedes. Dicho método fue adoptado, dado que trabajos análogos mencionan la inexistencia de diferencias significativas respecto a los resultados obtenidos a través de un

método más laborioso como ser el empleo del volumenómetro de Breuil (Pereyra *et al.*, 2002). El método consiste en los siguientes pasos: inmersión de probetas en agua hasta saturación completa, posterior inmersión de la probeta en un recipiente con agua colocada sobre una balanza y lectura obtenida en ella del empuje de la pieza. Con una densidad de agua de 1 g/cm³ la lectura de peso en la balanza puede ser considerada idéntica al volumen de la probeta medida.

La información obtenida fue analizada a través de análisis de varianza y evaluación del comportamiento denotado en distintos modelos de regresión ajustados a tal efecto, densidad en función a la distancia a la médula, densidad en función a la altura relativa y densidad en función a la distancia a la médula y la altura relativa. Para el estudio de variación de densidad básica en función a la distancia a la médula se trabajó con mediciones realizadas en el disco correspondiente a lo que se conoce como altura de Pressler. Esta metodología permite realizar comparaciones entre individuos de distinta altura total y/o edad. Se conoce como altura de Pressler a la distancia a partir del tocón en la que el diámetro del tronco se hace igual a la mitad del diámetro a altura de pecho (Pressler, 1865; citado por van Laar A. & Akça A., 2007).

Como producto final, a través de ajustes de regresión, se obtuvo una función que permitió predecir la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* en función a la edad del árbol, la distancia a la médula y la altura considerada. El ajuste de dicho modelo se realizó en dos etapas, primeramente se procedió a extraer una muestra independiente de validación procediéndose al ajuste con los datos restantes. A posteriori se procedió a validar el modelo y dado el bajo error de estimación se procedió finalmente a unificar ambos conjuntos de datos volviéndose a ajustar el modelo definitivo con la totalidad de los datos.

Resultados y discusión

La densidad básica de madera de *Pinus taeda* presentó cierta uniformidad al momento de su determinación, evidenciándose pequeñas variaciones entre edades, en la tabla 2 se presentan los valores máximos, mínimos y promedios de la misma.

Tabla 2. Densidad básica máxima, mínima y promedio según edad de corte.

Table 2. Maximum, minimum and average basic density expressed according age felling.

edad (años)	n	densidad básica (g/cm ³)			
		promedio	máxima	mínima	desvío estándar
3	18	0,34	0,39	0,31	0,02
5	18	0,35	0,42	0,27	0,03
7	18	0,35	0,38	0,31	0,02
10	21	0,36	0,41	0,32	0,03
15	7	0,34	0,36	0,28	0,02
20	12	0,41	0,44	0,37	0,02
22	6	0,39	0,43	0,35	0,03
25	10	0,43	0,48	0,40	0,02

La densidad básica obtenida en el presente trabajo es similar a la informada por Pereyra & Gelid (2002), Weber (2005) y Von Wallis *et al.* (2007).

Realizado un análisis multifactorial de la varianza para densidad básica los factores altura y distancia a la médula indican diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%.

Variación de la densidad básica en función a la altura

El patrón de variación de la densidad en función a la altura fue similar en el 80 % de los individuos analizados. En los mismos se presentó una disminución de la densidad básica de la madera en sentido hacia el ápice del árbol (figura 1).

Tal lo mencionado por Von Wallis *et al.* (2007), la variación de la densidad con la altura está ligada a la cantidad de madera juvenil que recorre al árbol axialmente como un cilindro interno desde la base hasta el ápice. El resultado es que las trozas de la copa constan principalmente de madera juvenil, mientras que las de la base del mismo árbol poseen más madera con una mayor densidad (Zobel, 1998). Jovanovski *et al.* (2002), trabajaron con *P. ponderosa* y determinaron que la variación de la densidad básica a distintas alturas del fuste presenta valores superiores en las porciones inferiores del árbol, y una disminución con el incremento de la altura hasta aproximadamente los 10 m; en tanto que Pereyra y Gelid (2002), citando a Megraw (1985), mencionan que la densidad posee además un patrón de variación con la edad y la altura, de tal manera que durante los primeros años el árbol produce madera con anillos de crecimiento anchos, donde hay una mayor proporción de leño temprano de baja densidad. También indica respecto a la altura, que la densidad es mayor en la base y va disminuyendo hacia la copa, a diferencia de lo ocurrido en *Eucalyptus grandis*, donde la densidad básica aumenta con la altura relativa considerada (Winck *et al.* 2011).

Variación de la densidad básica en función a la distancia a la médula

Los datos obtenidos evidencian que la densidad básica de la madera aumenta en el sentido médula - corteza. Este comportamiento se presenta, con algunas pequeñas variantes, en todas las edades. Al observar el comportamiento presentado en los ejemplares mayores a 10 años de edad es posible notar que la densidad básica tiende a estabilizarse a una edad de 7 años (figura 2).

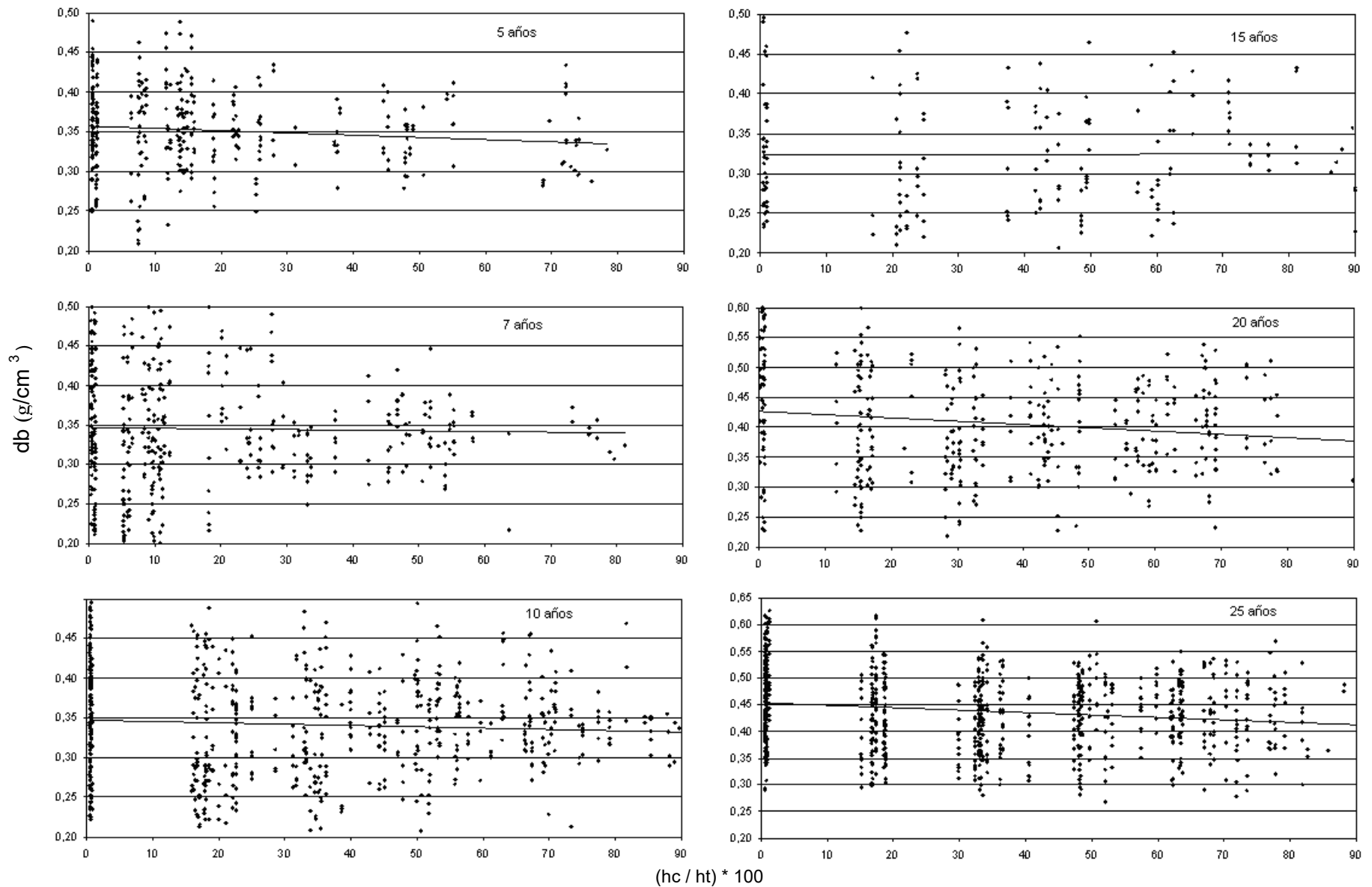


Figura 1. Patrón de variación de densidad básica de la madera de *Pinus taeda* en función a la altura del individuo.

Figure 1. Variation's pattern of basic wood density of *Pinus taeda* according to the individual height.

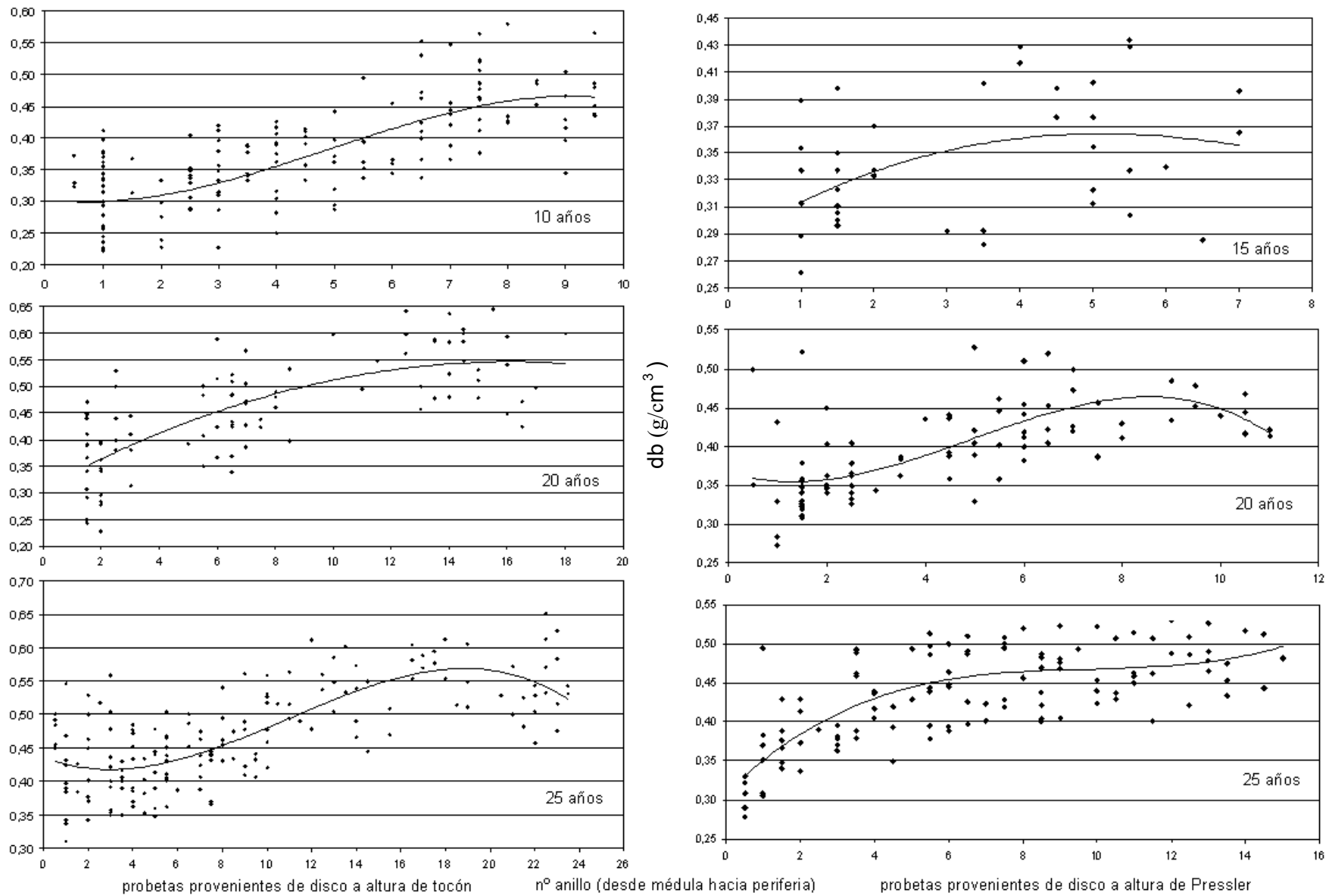


Figura 2. Patrón de variación de densidad básica de la madera de *Pinus taeda* en función a la distancia desde la médula expresada en función al número de anillo.

Figure 2. Variation's pattern of basic wood density of *Pinus taeda* according to the pith distance.

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA.
7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

Modelo de predicción de densidad básica de la madera en función a la distancia a la médula y la altura relativa

Los modelos de regresión ajustados permitieron realizar estimaciones de densidad básica de la madera en árboles individuales. La mejor performance se obtuvo con la función:

$$db = \exp(-1,99465 + 0,222105 \cdot \ln(ht) + 3,4477 \cdot 1/dap + 0,120209 \cdot (d m)^{(1/2)} + 0,055159 \cdot hr)$$

Donde: db = densidad básica de la madera (g/cm³)
ln = logaritmo natural
ht = altura total del individuo (m)
dap = diámetro a altura de pecho (cm)
d m = distancia desde la médula (cm)
hr = altura relativa (altura de corte / altura total) (m)

El estadístico R² indica que el modelo así ajustado explica el 61,36 % de la variabilidad en ln(db). El estadístico R² ajustado, que es más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 61,22%. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,105. El error absoluto medio (MAE) fue de 0,087. Realizado el análisis para determinar si el modelo puede simplificarse, el valor-P más alto de las variables independientes es 0,0001, que corresponde a hr. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, ese término es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0%, consecuentemente no se considera eliminar ninguna variable del modelo. Los residuos Estudentizados miden cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de ln(d b) del modelo ajustado, utilizando todos los datos excepto esa observación. En este caso, hay 33 residuos Estudentizados mayores que 2 desvíos estándar, pero ninguno mayor que 3 desvíos estándar.

Realizada la validación del modelo, el error promedio, considerado como: ((observado – estimado) / observado)*100, es de 10 %.

En la figura 3 se presenta un esquema del perfil de densidad básica de la madera en función a la altura de corte y la distancia desde la médula.

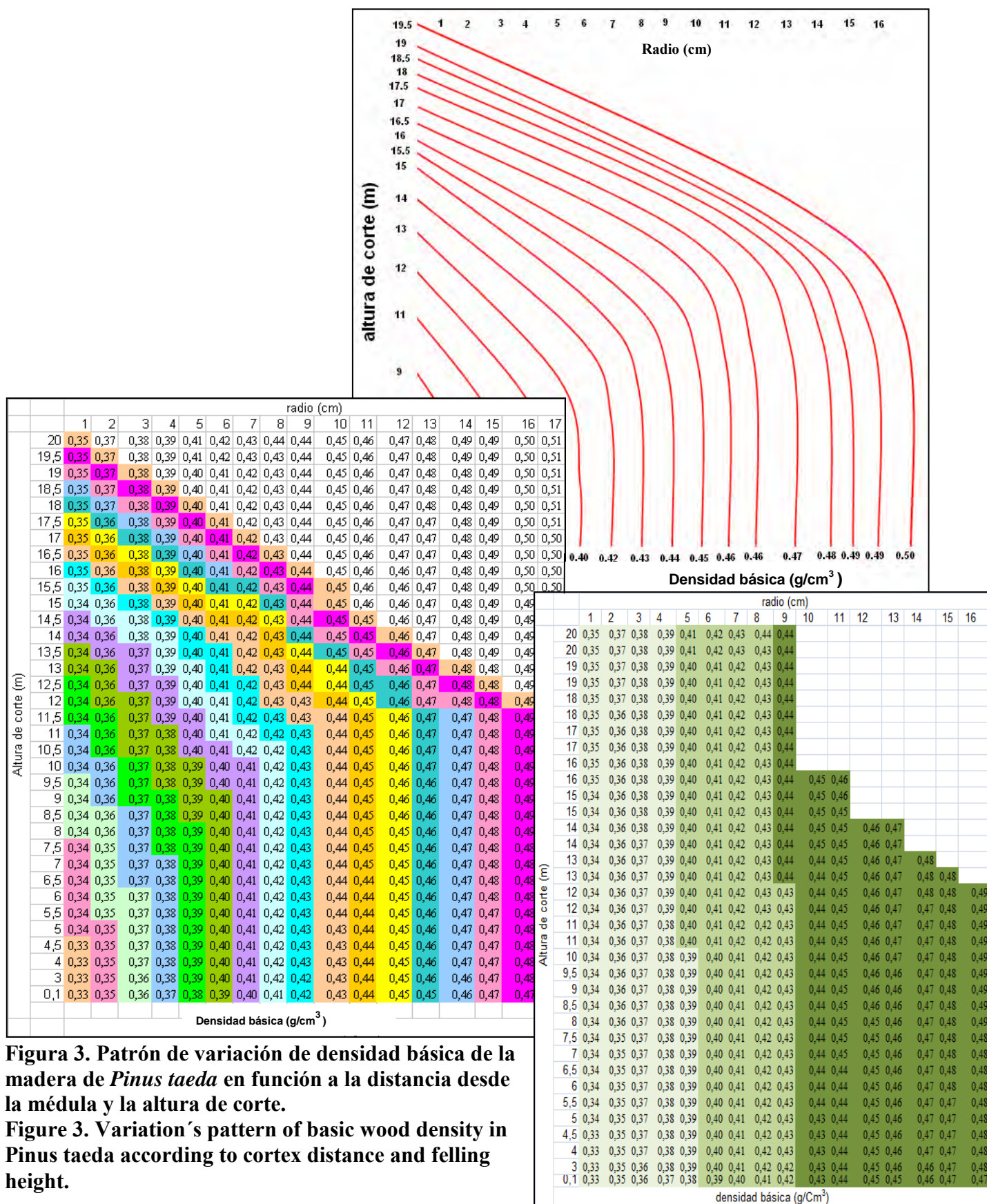


Figura 3. Patrón de variación de densidad básica de la madera de *Pinus taeda* en función a la distancia desde la médula y la altura de corte.
Figure 3. Variation's pattern of basic wood density in *Pinus taeda* according to cortex distance and felling height.

En vista a la figura 3, cabe recordar algunos detalles sobre el crecimiento de los árboles. Dicho crecimiento puede ser estudiado mediante un análisis tridimensional de los individuos. Mediante la observación de secciones transversales a lo largo del fuste, queda en

evidencia la formación de capas de material de leño temprano y leño tardío. Cada año el tejido del Cambium genera un nuevo conjunto de células, lo que da lugar a un anillo de crecimiento. En el presente trabajo, dicha reconstrucción de las dimensiones del fuste fue acompañada por determinación de la densidad básica de la madera.

La curva promedio de la densidad básica señala que la densidad podría considerarse estable hasta el 50% de la altura total del árbol, en áreas cercanas al inicio de copa viva. Los resultados obtenidos en la modelación de la densidad básica según patrón de variación longitudinal y transversal permiten inferir el comportamiento real de la misma con un error promedio obtenido de la validación a través de una muestra independiente de 9.26 %. El no haber logrado incrementar el coeficiente de determinación R^2 a más de 61 % podría deberse a la anisotropía propia de la madera.

En función a las variaciones de crecimiento, es posible definir, en función a las secciones longitudinal y transversal, tres zonas de densidad básica: baja, media y alta. A una edad de corte de entre 15 a 25 años estos rangos corresponderían a: densidad baja, hasta 0,39 g/cm³; densidad media, mayor a 0,39 hasta 0,43 g/cm³ y densidad alta, mayor a 0,43 g/cm³; ver figura 3.

Si bien los valores de densidad básica obtenidos son similares a los hallados por otros autores que estudiaron la misma especie (Pereyra *et al.*, 2002, Von Wallis *et al.*, 2007), el presente trabajo incrementa el rango de condiciones estudiado al incluir en su análisis individuos de distintas zonas de implantación, distintas edades y condiciones de manejo, incluyendo en el muestreo ejemplares dominantes, codominantes y dominados. Esta mayor representatividad queda evidenciada por la validación del modelo ajustado para predecir densidad básica en función a los ejes longitudinal y radial, validación en la cual se obtuvo un error promedio del 10%.

Conclusiones

De acuerdo a las condiciones en las que se realizó el presente estudio, y considerando los resultados obtenidos, se concluye que:

La densidad básica de la madera de *Pinus taeda* decrece en sentido longitudinal.

La densidad básica aumentó en sentido radial.

La densidad básica de la madera tiende a estabilizarse a partir del octavo anillo de crecimiento (contados desde la médula).

El modelo presentado es apto para inferir densidad básica de la madera de *Pinus taeda* implantado en la zona Misiones y NE de Corrientes dentro del rango de diámetros y edades considerados para cada una de las provincias.

Bibliografía

- Zobel, B.J. y J.P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation, its causes and control. Springer Verlag. Alemania. 363 p.
- Megraw, R. A.. 1985. Wood quality factors in Loblolly pine. Atlanta: Tapp Press. 88 p., CITADO POR Pereyra et al.
- Zobel B, Talbert J (1994) Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA. México, D. F. pp. 413-424.
- Einspahr, D. W., Van Buijtenen, J. P., Peckham, J. R. 1969. Pulping characteristics of ten-year loblolly pine selected for extreme wood specific gravity. Sil. Gen. 18(3):57-61.
- IRAM 9544. 1973. Norma para métodos de determinación de densidad aparente en maderas. Instituto Argentino de Racionalización de materiales. 6 p.
- Pereyra, O, Gelid, M. 2002. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y norte de Corrientes. Revista Floresta 33 (1) 3 – 19.
- Dyer, M. E.; Bailey, R. L. A Test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. Forest Science, Bethesda, v. 33, n.1, p. 3-13, Mar./May 1987.

- Weber, M. E. 2005. Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. Marion de diferentes edades, Misiones, Argentina. Revista FLORESTA. v. 35, n. 3. Páginas 487 – 494.
- Von Wallis, A.; Martiarena, R.; Pinazo, M. A. 2007. Densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L. Marion en función de la densidad arbórea del rodal y posición transversal en el fuste. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales. IBEROMADERA. 9 páginas. Publicado en cd de actas.
- Jovanovski, A; M. Jaramillo; G. Loguercio; S. Antequera. 2002. Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws) en tres localidades de Argentina. Centro de Investigacion y Extension Forestal Andino Patagonico. Bosque(Chile). 23(2): 99-104.
- Van Laar, A.; Akça A. 2007. Forest mensuration. Capítulo 4: Single-tree measurements. Germany. Página 76.
- Winck, R. A.; Barth, S. R; Fassola H.; Crechi, E. Keller, A; Videla, D. 2011. Propiedades físicas de la madera de *Pinus taeda* y *Eucaliptus grandis* cultivado en Misiones y NE de Corrientes. Charlas técnicas Feria Forestal Argentina. Posadas. Misiones. Argentina.

GRADO DE DURABILIDAD NATURAL Y ADQUIRIDA DE LA MADERA DE *Pinus taeda* (pino taeda) y *Pinus elliottii x Pinus caribea var. Hondurensis* (pino híbrido) ANTE LA ACCIÓN DE HONGOS XILOFAGOS

NATURAL GRADE OF AND ACQUIRED DURABILITY OF WOODS OF *Pinus taeda* (taeda pine) AND *Pinus elliottii x Pinus caribea var. Hondurensis* (hybrid pine) WOODS AGAINST THE ACTION OF TWO XYLOPHAGOUS FUNGI

Bobadilla E. A¹.; Suirezs T. M.¹ Stehr A. M².; Pereyra O.¹; Arguelles T.¹; Weber E. M¹.; Martínez S.¹; Vera L.²; Almada C.²; Morel M.²

¹Ing. Ftal. Docentes. Investigadores. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Bertoni 124 (3380). Eldorado, Misiones, Argentina. suirezs@facfor.unam.edu.ar

² Alumnas 5^{to} Ing. I.M. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Bertoni 124 (3380). Eldorado, Misiones, Argentina.

Resumen

Los objetivos del trabajo fueron, determinar la durabilidad natural y adquirida, de maderas comerciales de *Pinus elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis* y *Pinus taeda* sin impregnar e impregnadas con CA-B, frente a la acción de dos hongos. Las muestras de maderas para las probetas, se obtuvieron de industrias de la zona, las mismas fueron estacionadas para su estabilización en laboratorio. Se tomaron al azar dos grupos de 20 probetas, de las cuales uno fue impregnado por el método de Burnett y el restante como testigo. La durabilidad se determinó en base a la Norma EN 113 modificada. Analizados los datos obtenidos se concluye que la durabilidad de las maderas impregnadas aumenta, respecto de las maderas de la misma especie sin impregnar en ambos casos, ante la acción de los hongos *Laetiporus sulfureus* y *Pycnoporus sanguineus*.

Palabras claves: durabilidad natural, durabilidad adquirida, impregnación, pino taeda, pino híbrido, CA-B

Summary

The objectives of the work were, to determine and to compare the natural and acquired durability of the commercial woods of *Pinus elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis* and *Pinus taeda* with and without impregnation with CA-B against the action of two fungi. The samples of the woods were obtained in industries of the zone; they were set in the laboratory for their stabilization. Two groups of 20 samples were taken randomly, and one of them was impregnated by the Burnett's method, whereas the other was the control. The durability was determined using the modified Norm EN 113. Analyzing the data we can conclude that against facing the action of the fungi *Laetiporus sulfureus* and *Pycnoporus sanguineus*, the durability of the impregnated woods increases in both cases, with respect to the controls.

Key words: natural durability, acquired durability, impregnation, taeda pine, hybrid pine, CA-B.

Introducción

En la mayoría de los viveros forestales del norte de la provincial de Misiones, se están produciendo platines de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (pino híbrido), ya que la especie logró adaptación al clima y un rápido crecimiento. Los primeros cruzamientos del *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, se realizaron en 1968 en Futurulu, Malan F.S. (1995).

Con este cruzamiento se logro una especie de mayor resistencia al frio, mayor crecimiento y densidad. En Australia y Sudáfrica, el híbrido llegó a un crecimiento volumétrico de 37 % en promedio, superior al *Pinus elliottii* y un poco inferior al *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* Malan F.S. (1995).

Visualmente la madera del híbrido que crece en estas regiones, presenta una diferencia entre el leño temprano y el leño tardío, algo menor que el *Pinus elliottii*. Esta poca diferencia puede ser un aporte del *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* debido a que esta especie posee una textura más uniforme y la falta de contraste marcado entre leño temprano y leño tardío que caracterizan a estas especies (Malan, 1995). Rockwood *et al.* (1991), determinaron que en el sudeste de Queensland, el híbrido está reemplazando al *Pinus elliottii*, principalmente en los sitios poco drenados y al *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en los sitios bien drenados, por su adaptabilidad al medio y rápido crecimiento Suirezs *et al.* (2007) estudiaron las propiedades de la madera del *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* (pino híbrido) obteniendo los pesos específicos aparentes estacionado, anhidro, básico y saturado: 0,514 g/cm³, 0,478 g/cm³, 0,421 g/cm³ y 1,006g/cm³ respectivamente.

Las maderas de *Pinus* son susceptibles al ataque de hongos xilófagos, principalmente en condiciones húmedas y en contacto con el suelo. Los hongos que atacan a las maderas se clasifican según los daños que producen, en pudriciones, manchas y mohos. Las pudriciones son producidas por hongos Basidiomicetes que desintegran a la lignina por oxidación y a la celulosa por hidrólisis, causando pérdida del color natural, peso y propiedades de resistencia mecánicas de la madera (Martínez, 1952).

Bobadilla *et al.* (2007) al estudiar la durabilidad de la madera del *Pinus taeda* encontraron una pérdida de peso de 67,63 % frente a la acción del hongo *Laetiporus sulphureus* BAFC: 205 y 36,77 % ante el hongo *Ganoderma applanatum* BAFC: 1168.

Es necesario conocer previamente el comportamiento de las maderas ante diferentes situaciones de uso, para prolongar su vida útil mediante distintos tratamientos y protección por diseño.

La madera de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* (híbrido) es perecedera en estado natural, frente a la acción de hongo xilófago *Laetiporus sulfureus* y no resistente frente a la especie de hongo *Ganoderma applanatum* en uso exterior y húmedo, por lo que no se debería usar a la intemperie sin algún preservante, pero como es un madera que tiene buena absorción, sería fácil aplicar algún producto que aumente su vida útil.

La otra especie bajo estudio el pino taeda, tiene una distribución que abarca la provincia de Misiones, Corrientes, Nordeste de Entre Ríos (Concordia), litoral de Santa Fe, Delta del Río Paraná, centro norte de Buenos Aires y otras localidades del interior de esta provincia, 25 De Mayo y Los toldos. Es considerado una especie de régimen subtropical tropical, crece en regiones climáticas de tipo continental caliente y húmedo, requiere de temperaturas medias del mes más frío de 2-15 °C; del mes más calido 24-26 °C; mínima absoluta de -23 °C, precipitación uniforme en todo el año, sin sequía, media anual 900 - 1550 mm. Presenta en el aspecto ecológico gran plasticidad, a tal punto que se cultivan en regiones muy disímiles al de su hábitat. Puede ser

cultivado en una variedad de suelos pero se adapta mejor a los rojos, profundos, húmedos y de buen drenaje. Prefiere la gama ácida de suelos pH 4,5 -5,5 el requerimiento de fertilidad es mínimo y su deficiencia prácticamente no afecta sus crecimientos Tiene raíz pivotante que lo hace resistente a los vientos. La madera es blanco amarillenta, con duramen castaño; presenta anillos muy marcados; la densidad es de 460 kg/m³. Es poco durable en contacto con el suelo. Es blanda y liviana, se trabaja con facilidad. Apta para elaborar pasta celulosa y paneles aglomerados, usos para que se destina el producto de los raleos. El pino taeda es productor de resina.

Las probetas SON impregnadas, utilizando el producto denominado, CA-B wolman E o Copper Azole es un preservante hidrosoluble compuesto por cobre y un biocida orgánico, también se lo conoce con el nombre de copper azole, está aprobado por la agencia de protección ambiental de USA (EPA) y por la asociación de preservadores de madera de América (AWPA). En general, salvo alguna excepción, tiene las mismas aplicaciones que las maderas tratadas con CCA. <www.wolmanizedwood.com>

El método de Burnett consiste en la introducción de la madera dentro del cilindro de tratamiento el cual es cerrado herméticamente, a continuación se pone en funcionamiento una bomba de vacío a modo de extraer el aire del cilindro y de la madera, para facilitar la entrada del líquido, aprovechando el vacío realizado, se llena el cilindro de tratamiento con el preservante, luego se pone en funcionamiento una bomba de presión que debe ser mantenida tanto tiempo como sea necesario para que el preservante penetre enteramente en la madera, completado el periodo de presión el líquido sobrante es bombeado hacia el tanque de almacenamiento y finalmente se hace un nuevo periodo de vacío con la finalidad de extraer el remanente de líquido que queda sobre la superficie de la madera para su manipulación, (Tuset y Durán, 1978).

Materiales y métodos

Para este trabajo se usaron cepas de hongos xilofagos, *Pycnoporus sanguineus*, *Laetiporus sulphureus* BAFC: 205, proporcionadas por la Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales, Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Buenos Aires.

El cultivo de los hongos se realizó en medio de Noble, solución de 25 g de agar-agar y 15 g de extracto de malta, por cada 1000 g de agua destilada, se colocó en tubos de Pirex de 200 mm de largo y 20 mm de diámetro, obturados con tapón de algodón, este material fue esterilizado en autoclave con presión de 0,5 atm durante 5 minutos y luego colocados en posición inclinada, aproximadamente 10° con el propósito de que se forme el pico de flauta, el cual una vez solidificado y en condiciones asépticas se colocaron sobre esa superficie trozos de micelios de cada hongo, que fueron colocados en estufa durante 14 días a 27° C ± 1° C , con observaciones diarias hasta que el desarrollo del micelio cubra totalmente la superficie.

La elaboración de probetas y el cultivo de los hongos fue el propuesto por la Norma EN 113 modificada, métodos de laboratorio, que consiste en tomar probetas de 3 x 1 x 0,5 cm.

La medición de los pesos de las probetas antes y después de ser sometidas a la acción de los hongos, se realizó con balanza Mettler, con precisión de 0,01 miligramos.

Se utilizaron 5 probetas por especie de maderas impregnadas y 5 probetas por especie de madera sin impregnar y por cada hongo en estudio. El diseño es el completamente al azar y el análisis de varianza de experimento de factorial 2 x 2 x 2, donde el primero corresponde al número de especies de maderas, el segundo al tratamiento impregnado y no impregnado, y el tercer factor especies de hongos. El producto utilizado para impregnar, fue el CA-B wolman E o

Copper Azole es un preservante hidrosoluble compuesto por cobre y un biocida orgánico, <www.wolmanizedwood.com> y se realizó utilizando el método de Burnett.

Cuando el desarrollo del hongo en los tubos fue adecuado, se depositaron en el mismo las probetas con sus respectivas identificaciones, especie, número de repeticiones, tratamientos y tipo de hongo, que se colocaron en estufa de cultivo durante tres meses, a una temperatura de $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, con controles semanales. Finalizado este periodo, las probetas se retiraron de los tubos, se las limpiaron dejándolas en ambiente de laboratorio durante 48 hs para su acondicionamiento, luego se tomó el peso final de las probetas.

La durabilidad de las maderas, se determinó a partir de la diferencia de peso, antes y después de ser sometidas a la acción de los hongos.

De acuerdo a esta pérdida de peso se las clasificó, siguiendo el criterio de Findlay, (1951), en 5 grupos, basado en que los promedios de pérdidas de peso producido por los agentes xilófagos, durante un determinado lapso de tiempo, define el grado de durabilidad a la pudrición. Dicha clasificación se presenta en la tabla N° 1.

Tabla 1: Relación del porcentaje de pérdida de peso y grado de durabilidad de dos tipos de madera.

Table1 : Relation of the percentage of weigh loss and durability grade of two types of wood.

Porcentaje pérdida de peso	Grado de resistencia
hasta 1%	Muy resistente
2 - 5 %	Resistente
5 - 10 %	Moderadamente resistente
10 - 30%	No resistente
Superior al 30%	Perecederas

Resultados

Los resultados obtenidos para la especie *Pinus elliottii x Pinus caribea var. Hondurensis* (pino híbrido) son presentados en las tabla 2 de la madera sin impregnar y en la tabla 3 de la madera impregnada.

Tabla 2 . Valores promedios de pérdida de peso de la madera de Pino híbrido sin impregnar frente a la acción de hongos xilófagos.

Table 2: Mean values of weigh loss of hybrid pine wood without impregnation against the action of xylophagous fungi

Hongo	Promedio%	DS%	CV%	GR
<i>Laetiporus sulfureus</i>	44,83	12,26	27,34	Perecederas
<i>Pycnoporus</i>	18,43	2,10	11,39	No resistente

DS: Desvío estándar; CV: Coeficiente de variación; GR: grado de resistencia

Tabla 3 . Valores promedios de pérdida de peso de la madera de Pino híbrido impregnada frente a la acción de hongos xilófagos.

Table 3: Mean values of weigh loss of hybrid pine wood impregnation against the action of xylophagous fungi

Hongo	Promedio%	DS%	CV%	GR
<i>Laetiporus sulfureus</i>	1,93	0,28	14,51	Muy resistente
<i>Pycnopus</i>	1,82	0,53	29,05	Muy resistente

DS: Desvío estándar; CV: Coeficiente de variación; GR: grado de resistencia

De las tablas 2 y 3 podemos decir que según la clasificación de Finlay el grado de durabilidad de las maderas impregnadas es Muy Resistente, lo cual muestra que el producto utilizado aumenta la durabilidad de dicha especie.

En el estudio de comparación de medias los resultados obtenidos son reflejados en la tabla 4. En la misma se evidencia que hay diferencias significativas para el caso de la madera impregnada entre los distintos hongos y con respecto a las maderas sin impregnar. Esto se ve más claramente en el gráfico 1.

Tabla 4. Comparación de medias de pérdida de peso de la madera de Pino híbrido impregnada y sin impregnar

Table 4: Comparison of mean weigh loss of impregnated and without impregnation hybrid pine wood

Hongo	tratamiento	Media %	n
<i>Pycnopus</i>	impregnado	1,82	A
<i>Pycnopus</i>	sin impregnar	18,43	5 B
<i>Laetiporus</i>	impregnado	1,93	5 A
<i>Laetiporus</i>	sin impregnar	44,83	5 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

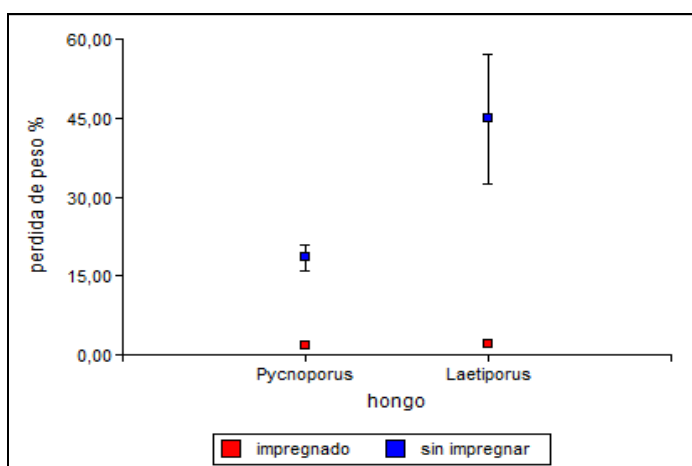


Gráfico 1: Comparación de medias de la madera impregnada y sin impregnar del Pino híbrido ante la acción de 2 hongos xilófagos.

Graph 1: Comparison of mean of hybrid pine impregnated and without impregnation wood facing the action of two xylophagous fungi.

Los resultados obtenidos para la especie *Pinus taeda* son presentados en las tabla 5 de la madera sin impregnar y en la tabla 6 de la madera impregnada.

Tabla 5: Valores promedios de pérdida de peso de la madera de Pino taeda sin impregnar frente a la acción de hongos xilófagos.

Table 5: Mean values of weigh loss of taeda pine wood without impregnation facing the action of xylophagous fungi.

Hongo	Promedio%	DS%	CV%	GR
<i>Laetiporus sulfureus</i>	38,09	13,19	34,63	Perecederas
<i>Pycnopus</i>	32,33	6,80	21,05	Perecederas

DS: Desvío estándar; CV: Coeficiente de variación; GR: grado de resistencia

Tabla 6: Valores promedios de pérdida de peso de la madera de Pino taeda impregnada frente a la acción de hongos xilófagos.

Table 6: Mean values of weigh loss of Taeda pine impregnated wood facing the action of xylophagous fungi

Hongo	Promedio%	DS%	CV%	GR
<i>Laetiporus sulfureus</i>	3,18	1,20	37,79	Resistente
<i>Pycnopus</i>	1,77	0,91	51,65	Muy resistente

DS: Desvío estándar; CV: Coeficiente de variación; GR: grado de resistencia

De las tablas 5 y 6 podemos decir que según la clasificación de Findlay el grado de durabilidad de las maderas impregnadas es Resistente y Muy resistente, lo cual muestra que el producto utilizado también en esta especie aumenta la durabilidad natural.

Si comparamos estos datos con los obtenidos por Suirezs *et al.* (2007) la misma especie impregnada con CCA arrojó valores superiores.

En el estudio de comparación de medias los resultados obtenidos son reflejados en la tabla 7. En la misma se evidencia que no hay diferencias significativas para el caso de la madera impregnada y la sin impregnar, pero si la hay para igual hongo y distinto tratamiento. Esto se ve más claramente en el gráfico 2.

Tabla7: Comparación de medias de pérdida de peso de la madera de Pino taeda impregnada y sin impregnar

Table 7: Comparison weigh loss mean of taeda pine impregnated and without impregnation wood.

Hongo	tratamiento	Media %	n
<i>Pycnopus</i>	impregnado	1,77	5 A
<i>Pycnopus</i>	sin impregnar	32,33	5 B
<i>Laetiporus</i>	impregnado	3,18	5 A
<i>Laetiporus</i>	sin impregnar	38,09	5 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

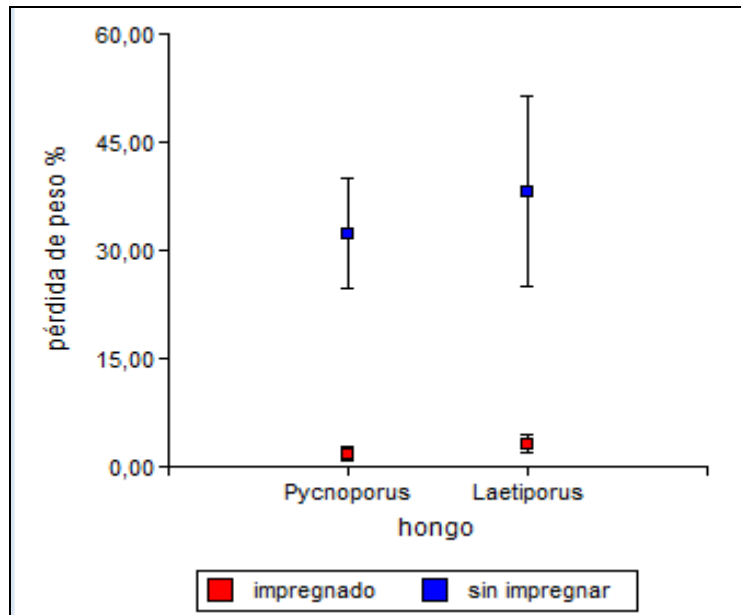


Gráfico 2: Comparación de medias de la madera impregnada y sin impregnar del Pino taeda ante la acción de 2 hongos xilófagos.

Graph2 : Comparison of mean of taeda pine impregnated and without impregnation wood facing the action of two xylophagous fungi

En el gráfico 2 se observa claramente como ha aumentado la durabilidad natural en las maderas impregnadas

Conclusiones

El pino híbrido ha mostrado que el grado de durabilidad de las maderas impregnadas según la clasificación de Findlay es Muy Resistente, para los dos hongos estudiados, lo cual demuestra que el producto utilizado aumenta la durabilidad de dicha especie.

La madera impregnadas con CA-B de pino taeda según la clasificación de Findlay arroja un grado de durabilidad de Resistente para *Laetiporus sulfureus* y para *Pycnoporus* Muy resistente, lo cual muestra que el producto utilizado también en esta especie aumenta la durabilidad natural.

Bibliografía

- Bobadilla, E.; Suirezs, T.; Pereyra, O.; Weber, E.; Silva, F.; Stehr, A. 2007. Durabilidad de la madera del *Pinus taeda*. L. impregnado con cupro-cromo-arsenicales, frente a hongos xilófagos. Misiones. Argentina. Revista FLORESTA Volumen 37 número 1. FUPEF. Universidad Federal do Paraná.
- <http://www.wolmanizedwood.com/Products/Preservative/default.htm>; Productos preservantes, [enero 2010]
- Findlay, W. P. K. 1938. The value of laboratory test on Wood preservative. Convention British Wood Preserving Association
- Malan f.S. 1995. The Basic Wood Properties and sawtimber quality. South African grown *Pinus elliottii x Pinus caribea*. Division of Forest Science and Technology CSIR, Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif-nr 173.
- Martinez, J. B. 1952. Conservación de madera en sus aspectos teóricos, industrial y económico. Volumen I. Ministerio de Agricultura. Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Madrid. Pg.550.
- Norma EN 113 modificada
- Rockwood, DL; Hardading, K.L; Nicles, D.G. 1991. Variation in the Wood Properties of the *Pinus elliottii x Pinus caribaea* var. *Hondurensis* F1 Hybrid, Its Parental Species, and Backcross to *Pinus elliottii* in Australia.
- 15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

FACTIBILIDAD DE USO DE LA TRANSFORMACIÓN RÁPIDA DE FOURIER (FFT) PARA LA DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO A BAJO COSTO

FESEABILITY OF THE USE OF THE FAST FOURIER TRANSFORMATION (FFT) FOR DINAMIC MOE DETERMINATION.

Fassola H. E.¹; Sismándy-Kiss F.²; Divos F.³

1 Investigador INTA EEA Montecarlo. Av. El Libertador 2472. 3384. Montecarlo. Misiones. Hfassola@montecarlo.inta.gov.ar

2 Doctorando. Facultad de Ciencias Forestales y de la Madera de la University of West Hungary. Ady endre 5. Sopron. Hungría. skf@fmk.nyme.hu

3 Profesor. Facultad de Ciencias Forestales y de la Madera de la University of West Hungary. Ady endre 5. Sopron. Hungría. divos@fmk.nyme.hu

Resúmen

Un software libre, FFT Analyzer, fue descargado de la web para efectuar determinaciones de módulo de elasticidad (MOE) dinámico. Vibraciones longitudinales y transversales fueron inducidas en 198 vigas de *Larix decidua* para determinar el MOE dinámico con el mismo. Posteriormente las vigas fueron sometidas a ensayo en una Máquina Universal para determinar el MOE estático. Fue posible determinar que con el método FFT el MOE fue subestimado en relación a los resultados obtenidos en el ensayo estático. La menor sobreestimación se obtuvo con el método FFT basado en vibración transversal. Mediante regresión lineal se establecieron relaciones entre los MOE dinámicos y los respectivos MOE estáticos. El mejor ajuste para la predicción MOE estático se logró con el modelo basado en el MOE dinámico obtenido por vibración transversal. Fueron obtenidas predicciones altamente precisas del MOE estático. El método puede ser aplicado por pequeñas industrias con un muy bajo costo de inversión para lograr una diferenciación en el mercado.

Palabras clave: MOE dinamico, MOE estatico, analizador de la Transformación Rápida de Fourier, *Larix decidua*

Summary

A free software, FFT Analyzer, was downloaded from the web in order to determine dynamic MOE. Longitudinal and bending vibration were induced in order to determine dynamic MOE in 198 beams of *Larix decidua* with it. After that the beams were tested in a Universal Testing machine in order to determine its static MOE. It was possible to determine that the FFT method overestimated the MOE in relation with the results obtained in static test. The lowest overestimation was obtained with the FFT method based on bending vibration. Using regression analysis relationships between both dynamic MOE determinations as independent variables and static MOE as dependent variable. The best fit for static MOE prediction was obtained with the model that was based on dynamic MOE obtained from bending vibration. Highly accurate predictions of static MOE could be obtained. The method could be applied by small industries at very low cost of investment in order to get a market differentiation.

Key words: dynamic MOE, static MOE, Fast Fourier Transformation Analyser, *Larix decidua*

Introducción

El uso de combustibles fósiles y la tala rasa son considerados como las principales fuentes de incremento CO_2 . Aunque no hay pruebas reales de que reduciendo la emisión de gases invernadero, originados en actividades humanas, se pueda reducir el calentamiento global, es necesario prevenir los efectos de estos (Huang, 2011). Si bien aun no hay acuerdos en las regulaciones para establecer el mejor método para reducir las emisiones, es cierto que los bosques y productos forestales pueden contribuir a reducir la huella de carbono (Huang, 2011). Acumular CO_2 por períodos relativamente prolongados recurriendo al incremento del uso de productos de madera, especialmente en la construcción, debiera ser política de estado. Pero también es cierto que debido a el mejoramiento genético y prácticas de manejo, la proporción de madera juvenil en los bosques actuales es alta, lo que afecta la resistencia y la densidad de la madera. Ganguly y Eastin (2007) mencionan la existencia de insatisfacción entre los constructores, que de hecho afecta sus decisiones de compra, debido a la estabilidad dimensional de la madera.

Sin embargo el desarrollo de métodos acústicos aplicados en árboles jóvenes y plantines, ha brindado a la industria herramientas para monitorear, en los programas de mejoramiento de las especies de rápido crecimiento, la obtención de madera juvenil con mayor módulo de elasticidad (MOE) y resistencia al estrés debido a causas ambientales. Mientras que la determinación de la velocidad de la onda de esfuerzo puede ser empleada para el mejoramiento con el propósito de una mayor densidad y consecuentemente de fijación de carbono (Huang, 2007). Estos métodos también han impactado en las tecnología de determinación de la forma de rollizos, en la determinación de propiedades de láminas de madera, como también de la madera estructural y la detección de delaminación (Ross, 2011). La determinación del tiempo de propagación de la onda de esfuerzo ha sido empleada para determinar resistencia en árboles en pie y fustes de largo indeterminado y lo métodos de resonancia para segregare rolizos por categorías de resistencia. Y cerrando el ciclo de equipamiento apto para tipificar rollizos por resistencia mecánica, a escalas operativas, desde 2010 a 2011 cinco cabezales de cosecha han sido equipados con sistemas de tipificación de rollizos en tres clases de resistencia mediante determinación del tiempo de vuelo de la onda de esfuerzo (Carter, 2011).

Habiendo sido adoptados los métodos acústicos en la actualidad, tanto a nivel de investigación como en la aplicación operativa, en todos los campos de la actividad forestal y de la tecnología de la madera, son mínimas las referencias a su empleo en nuestro país (Piter *et al.*, 2004; Fassola *et al.*, 2011. Aunque si bien no se tiene conocimiento del uso en la escalas operativas, tanto en el bosque como en industria, los métodos acústicos han sido empleados en investigación para la determinación del MOE con más intensidad en países como Chile (Niemz *et al.*, 1994), Uruguay (O’neill *et al.*, 2005; O’neill y Tarigo, 2008) y Brasil (Bertoldo Pedroso *et al.*, 2011).

Un método no destructivo para evaluar MOE recurre al método FFT, siglas con la que se abrevia del inglés la denominada Transformación Rápida de Fourier. La FFT es de gran importancia en una amplia variedad de aplicaciones, como el tratamiento digital de señales y filtrado digital en general. Es la base de muchas operaciones fundamentales del procesamiento de señales, donde tiene amplia utilización. Entre estas podemos mencionar el Módulo dinámico longitudinal de elasticidad de una pieza prismática homogénea, cuya expresión es la siguiente ($MOE_{din\ long}$)

$$MOE_{dinlong} = \rho V^2$$

donde : ρ es la densidad y V es la velocidad del sonido. Una determinación precisa de la velocidad del sonido está dada por la vibración longitudinal:

$$V = 2Lf$$

Donde: L es el largo de la pieza, f es la frecuencia de la vibration longitudinal:

$$f = (n/2L) (MOE_{din long} g/\rho)^{1/2}$$

donde: n : n° de nodo= 1; g : constante de aceleración gravitacional

En el caso de que la onda de estrés sea generada en forma transversal a la pieza, se establece el Módulo dinámico transversal de elasticidad ($MOE_{din trans}$) para un cuerpo prismático homogéneo empleando las siguientes expresiones (Fakopp Enterprise, 2011):

$$MOE_{din trans} = \left(\frac{2f_n}{\gamma_n \pi} \right)^2 \frac{mL^3}{I}$$

donde f_n es la frecuencia de la vibración transversal, n es el número de modo, siendo la condición de soporte libre. *in*

$\gamma_n = (n+0.5)^2$, n número de modo, pero $\gamma_1 = 2.267$

m es la masa de la pieza prismática

L es el largo de la pieza

I es la inercia, $I = \frac{ab^3}{12}$ donde a es el ancho y b es el espesor de la pieza.

La frecuencia es determinada por equipamiento específico (FFT Analyzer; O'Neill *et al.*, 2005; O'Neill y Tarigo, 2008). Sin embargo una empresa que comercializa equipamiento para determinar propiedades mecánicas de árboles, rollizos y madera mediante señales acústicas, permite descargar en forma gratuita desde su sitio, software para analizar la frecuencia de las señales empleando una PC/notebook/ netbook si tienen incorporada una placa de sonido adecuada (Fakopp Enterprise, 2011).

A los fines de determinar la precisión en la determinación del $MOE_{din long}$ y del $MOE_{din trans}$ mediante el método FFT Analyzer (Fakopp Enterprise, 2011) para PC, se contrastó los valores obtenidos por este medio con los obtenidos con las mismas vigas de *Larix decidua* sometidas a ensayo en una máquina universal perteneciente al Laboratorio de Ensayos de Madera Estructural de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Madera de la University of West Hungary con sede en Sopron.

Material y Métodos

Un total de 198 vigas de *Larix decidua* fueron adquiridas en el mercado local de Sopron, Hungría. En el Laboratorio de Ensayos de Madera Estructural de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Madera de la University of West Hungary se determinó el largo de las mismas con cinta con una precisión al mm y el ancho y espesor con calibre con una precisión de +/- 0,001 mm. El peso se tomó con balanza con una precisión de +/-0,01 kg. Con estas variables se determinó ρ . La humedad se determinó con un xiligrómetro de contacto con una precisión de +/- 1 % (tabla 1).

Con posterioridad se procedió a determinar f , frecuencia de la vibration longitudinal, mediante el empleo del software FFT (Fakopp Enterprise, 2011) instalado sobre una PC con placa de sonido y un micrófono. Este último recogía la frecuencia de la vibración longitudinal inducida por un golpe de martillo en uno de los extremos de la viga (Fakopp Enterprise, 2011). Dicho valor fue empleado para calcular el $MOE_{din long}$ con las fórmulas anteriormente descriptas y que también están volcadas sobre una plantilla Microsoft Excel® en el sitio de Fakopp Enterprise (2011) y que puede ser descargada de la web sin costo. La vibración transversal, necesaria para la determinación del $MOE_{din trans}$, se generó con la pieza apoyada a 0,22 L de los dos extremos y aplicando un golpe en la mitad de la viga. El microfono ubicado

próximo al punto de impacto registró la señal para ser analizada su frecuencia por el FFT Analyzer. Con este valor y recurriendo a la plantilla Excel ya mencionada, en las celdas específicas se calculó el $MOE_{din trans}$ (Fakkopp Enterprise (2011)).

Con posterioridad se procedió a determinar f , frecuencia de la vibration longitudinal, mediante el empleo del software FFT (Fakopp Enterprise, 2011) instalado sobre una PC con placa de sonido y un micrófono. Este último recogía la frecuencia de la vibración longitudinal inducida por un golpe de martillo en uno de los extremos de la viga (Fakopp Enterprise, 2011). Dicho valor fue empleado para calcular el $MOE_{din long}$ con las fórmulas anteriormente descriptas y que también están volcadas sobre una plantilla Microsoft Excel® en el sitio de de Fakkopp Enterprise (2011) y que puede ser descargada de la web sin costo. La vibración transversal, necesaria para la determinación del $MOE_{din trans}$, se generó con la pieza apoyada a $0,22 L$ de los dos extremos y aplicando un golpe en la mitad de la viga. El microfono ubicado próximo al punto de impacto registró la señal para ser analizada su frecuencia por el FFT Analyzer. Con este valor y recurriendo a la plantilla Excel ya mencionada, en las celdas específicas se calculó el $MOE_{din trans}$ (Fakkopp Enterprise (2011)).

Tabla 1. Ancho, espesor, largo, masa, ρ y humedad de las vigas de *Larix decidua*
Table 1. With, thickness, length, mass, ρ and humidity of *Larix decidua* beams

	ancho mm	espesor mm	L mm	peso kg	ρ kg/m ³	humedad %
promedio	49,67	96	2018	4,1	424,8	11,1
máximo	54,13	103	2082	5,1	526,8	14,5
mínimo	45,65	88	1980	3,3	326,5	9,0
desvío estándar	1,93	2	13	0,4	46,0	1,3
número de vigas	198	198	198	198	198	198

Una vez efectuadas estas determinaciones se procedió a determinar el MOE y el Módulo de Rotura estático (MOE_{est} y MOR_{est} respectivamente) en una máquina de ensayos universal del mencionado laboratorio.

Para analizar los valores de MOE dinámicos y de MOE estático se recurrió a análisis de los errores de estimación y de regresión para establecer relaciones entre las variables determinadas.

Resultados y Discusión

Determinación y comparación de valores de MOE dinámico, longitudinal y transversal, obtenido mediante el método FFT y el MOE estático mediante máquina universal

En la **tabla 2** se presentan los valores de MOE establecidos con los tres métodos empleados.

Tabla 2: Valores de MOE dinámicos establecidos con el método FFT y MOE estático obtenido con máquina universal de ensayos

Table 2: Values of dynamics MOE determined by FFT methods and static MOE determined with an universal testing machine

	$MOE_{din\ long}$ FFT Gpa	$MOE_{din\ trans}$ FFT Gpa	MOE_{est} Gpa
promedio	10,8	10,0	8,9
máximo	18,4	16,7	14,7
mínimo	5,2	5,0	4,8
desvío estándar	3,0	2,5	2,2

Donde:

$MOE_{din\ long}$ FFT: Modulo de Elasticidad longitudinal determinado por FFT; $MOE_{din\ trans}$ FFT: Modulo de Elasticidad longitudinal determinado por FFT; MOE_{est} : Modulo de Elasticidad estático determinado con máquina universal.

Graficados el diferencial, expresado como error en forma porcentual, entre el $MOE_{din, long}$ (GPa x 1000) y el $MOE_{din, trans}$ (GPa x 1000) respecto del MOE_{est} (MPa) fue factible observar que los métodos dinámicos sobrestiman el valor del módulo de elasticidad, aunque el valor obtenido por el método de vibración transversal lo hizo en menor medida (**figura 1**). Esto es común a otros trabajos realizados en Uruguay y el mundo donde se empleó el método FFT mediante vibración longitudinal en relación al MOE_{est} . Aunque los errores determinados para el método FFT de vibración longitudinal (-21%) son superiores al 10 % que citan O’neill *et al.* (2005) y O’neill y Tarigo (2008) para *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliottii* en Uruguay. Sí se aproximaron a este valor las observaciones en las que se recurrió a vibración transversal, 12,3 %, pero no fue posible obtener citas respecto de este método, que en el presente caso evidenció ser superior al de vibración longitudinal (**figura 2**).

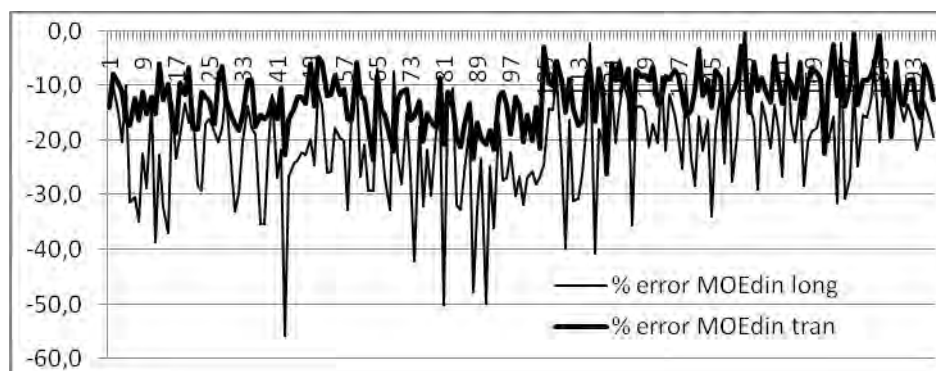


Figura 1: Error de estimación del MOE empleando el método FFT mediante generación de vibración longitudinal y transversal.

Figure 1: Prediction’s error of MOE applying the FFT method by longitudinal and bending vibration

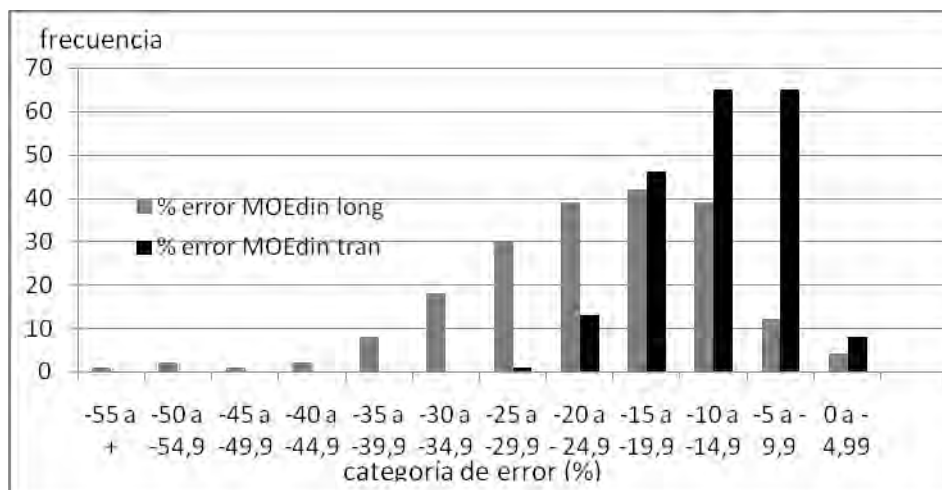


Figura 2: Distribución de los errores de estimación del MOE empleando el método FFT mediante generación de vibración longitudinal y transversal.

Figure 2: Distribution of errors of MOE estimation applying the FFT method by longitudinal and bending vibration by error class

Relación entre el $MOE_{din\ long}$ y el MOE_{est} y entre el $MOE_{din\ trans}$ y el MOE_{est}

A los fines de calibrar el método FFT para estimar el MOE_{est} se ajustaron modelos de regresión lineal simple entre las variables, siendo la dependiente el MOE_{est} y las independientes $MOE_{din\ long}$ y $MOE_{din\ trans}$ respectivamente. En la **tabla 3** se presentan los coeficientes y en la **tabla 4** los estadísticos respectivos.

Tabla 3: Modelos de estimación del MOE_{est} en función de $MOE_{din\ long}$ y $MOE_{din\ trans}$
Table 3: Estimation models of MOE_{est} as function of $MOE_{din\ long}$ and $MOE_{din\ trans}$

modelo	Intercepto	Pendiente	Valor-P coef	Valor-P coef
$MOE_{est} f(MOE_{din\ long})$	1100,41	721,197	0	0
$MOE_{est} f(MOE_{din\ trans})$	274,835	863,125	0,01	0

Tabla 4: Estadísticos de los modelos de estimación del MOE_{est} en función de $MOE_{din\ long}$ y $MOE_{din\ trans}$

Table 4: Statistics of the estimation models of MOE_{est} as function of $MOE_{din\ long}$ and $MOE_{din\ trans}$

	$MOE_{est} f(MOE_{din\ long})$	$MOE_{est} f(MOE_{din\ trans})$
Coefficiente de Correlación	0,965057	0,986473
R^2	93,13%	97,31%
R^2 (ajustado para g.l.)	93,10%	97,30%
Error estándar del est.	585,956	366,554
Error absoluto medio	446,083	294,179

En base a los valores del coeficiente de determinación y a los errores se puede afirmar que la mejor relación se obtuvo con el modelo que emplea $MOE_{din\ trans}$, aunque el otro modelo presentó también un buen ajuste. Pero el modelo con $MOE_{din\ trans}$ presentó muy pocos valores por fuera de los límites de confianza (**figura 3**) y sus residuos presentan un ligera mejor

distribución (figura 4) respecto de los residuos del modelo que emplea $MOE_{din trans}$ como variable

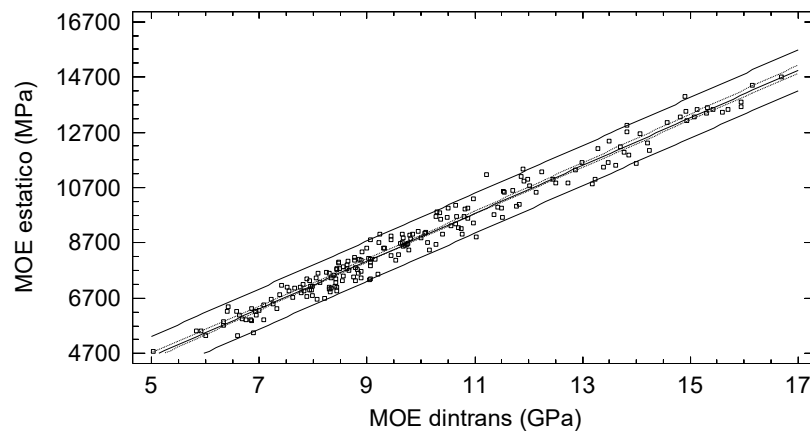


Figura 3: Valores observados y estimados de MOE_{est} en función de $MOE_{din trans}$.

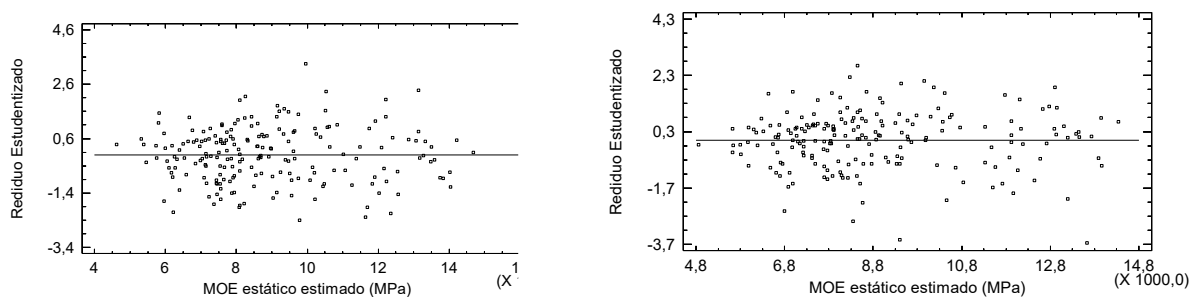


Figure 4: Residuos estudentizados, a) modelo en función de $MOE_{din trans}$ y b) modelo en función de $MOE_{din long}$
Figure 4: Studentized residuals, a) model as function of $MOE_{din trans}$ and b) model as function of $MOE_{din long}$

Estimados los errores de predicción del MOE_{est} , estableciendo la diferencia entre observados y estimados de los dos modelos ajustados se estableció, que con el modelo que emplea la variable $MOE_{din long}$ el error porcentual promedio fue de $-0,49\%$, mientras que el que recurre a $MOE_{din trans}$ como variable independiente presentó un error promedio de $-0,19\%$. En la **tabla 5** se presenta la frecuencia de estos errores por categoría de los mismos. Se observa que la estimación del $MOE_{est} f(MOE_{din trans})$ presenta el 76% de los errores en la categoría $\pm 5\%$ y el 98% entre $\pm 10\%$, siendo las subestimaciones y sobreestimaciones equilibradas. Ello hace de este modelo superior al $MOE_{est} f(MOE_{din long})$.

Tabla 5: Frecuencia de los errores de estimación del MOE_{est} por categoría y por modelo ajustado

Table 5: Frequency of the estimation error of MOE_{est} by category and fitted model.

% error	$MOE_{est} f(MOE_{din\ long})$	$MOE_{est} f(MOE_{din\ trans})$
-20 a -24,9	2	0
-15 a -19,9	2	0
-10 a -14,9	7	1
-5 a -9,9	14	13
0 a -4,9	21	37
0 a 4,9	39	39
5 a 9,9	12	10
10 a 14,9	4	1
15 a 19,9	1	0

Conclusiones y consideraciones

El uso de la Transformación Rápida de Fourier (FFT) para estimar módulos dinámicos de elasticidad en vigas de madera de *Larix decidua* resultó en un método eficiente, especialmente el que se basó en el análisis de las vibraciones transversales. Este método presentó el 93 % de las observaciones con errores inferiores al 20 % respecto de los valores de MOE obtenidos sobre las mismas piezas en máquina de ensayos universal. El patrón exhibido de sobreestimar el MOE es coincidente con lo reportado para otras especies, lo cual permitiría ajustar coeficientes de corrección. Pero si se dispone de facilidades para establecer relaciones con el MOE estático su uso se potencia enormemente dada la facilidad de transporte del equipo necesario.

La disponibilidad del software para analizar las frecuencias que se generan con vibraciones transversales, también longitudinales, brinda la posibilidad a pequeñas industrias de aserrado o de vigas multilaminadas, de tipificar o calificar sus productos por resistencia estructural con costos bajos en equipamiento.

El mercado doméstico de la madera está absorbiendo gran parte de la producción nacional, dada una reducción en la competitividad del sector como para exportar productos orientados al mercado de apariencia. Una alta proporción de la madera aserrada se orienta hacia la construcción ello exige que se pueda brindar al consumidor o al profesional calculista un producto predecible en cuanto a su comportamiento. Los métodos acústicos, junto a otros métodos no destructivos, deben pasar a jugar un rol preponderante incluso desde las etapas del mejoramiento genético, hasta el aprovechamiento en monte e indefectiblemente en la industria si se desea que el mercado opte por emplear más madera. Incluso las políticas públicas o privadas que surjan para atender a la fijación y captura de CO_2 y cuyo propósito sea el de reducir la huella de carbono, como estrategia para la mejora ambiental hasta para lograr mejores posicionamientos comerciales, deberán atender a la calidad de las prestaciones de la madera para que el mercado las acepte.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Ciencias Forestales y de la Madera de la University of West Hungary, Hungría, el haber posibilitado la realización de capacitación y práctica en sus instalaciones y al Proyecto Plantaciones Forestales Sustentables el haber financiado la misma.

Bibliografía

- BERTOLDO PEDROSO C., GONÇALVES R., BATISTA F., BARROS SECCO CH. 2011. Velocity of Ultrasonic Waves in Live Trees and in Freshly-felled Logs of Exotic Trees Grown in Brasil. Proceedings XV I Ith International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, vol 1:69-75. IUFRO. U. West Hungary. Sopron
- CARTER P. 2011. Real-time measures of wood quality-transition from research to application. Proceedings XV I Ith International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, vol 1:34-39. IUFRO. U. West Hungary. Sopron
- FAKOPP ENTERPRISE. 2011. Free FFT Analyzer (MOE and G determination). Disponible en: <http://www.fakopp.com/site/downloads/fftanalyzer.zip>. Setiembre de 2011.
- FASSOLA H. E., VIDELA D., WINCK R. A., PEZZUTTI R. 2011. Effect of pruning of *Pinus taeda* on longitudinal ultrasound speed of standing trees and logs in plantations of North Eastern Argentina. Disponible en Proceedings 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. Sopron, hungria. Universidad of west Hungary. Pp.113 a 120.
- GANGULY I. Y EASTIN L. 2007. Material substitution trends in residential construction 1995, 1998, 2001 and 2004. Cintrafor working paper 108, 54 p.
- HUANG CH. 2011. Non destructive Testing of wood and Carbon Footprint. Proceedings XV I Ith International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, vol 1:9-14. IUFRO. U. West Hungary. Sopron.
- NIEMZ P., AGUILERA A., ROLLERI A. 1994. Velocidad de propagación del sonido en algunas especies creciendo en Chile y su relación con propiedades físicas. BOSQUE 15(2): 49-54.
- O'NEILL H., TARIGO F., TARIGO J., GARCÍA G. 2005. Propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus grandis* Maiden en el Norte de Uruguay. Informe n° 5 GT2 – Departamento de Proyectos Forestales - Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Pp49
- O'NEILL H., TARIGO F. 2008. PROPIEDADES MECÁNICAS DE *Pinus elliottii* Eng. del norte de Uruguay. Informe n° 7 GT3 – Departamento de Proyectos Forestales - Laboratorio Tecnológico del Uruguay. PP42.
- PITER J.C., ZERBINO R. L., BLA H. J. (2004) Effectiveness of Fundamental Resonant Frequency for determining the elastic properties of Argentinean *Eucalyptus grandis* in structural sizes. Holz als Roh- und Werkstoff 62(2): 88-92.
- ROSS R. 2011. Impact of nondestructive testing and evaluation of wood products. Proceedings XV I Ith International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, vol 1:3-7. IUFRO. U. West Hungary. Sopron.

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PROBETA EN LA ESTIMACIÓN DE LAS CONTRACCIONES DE LA MADERA

INFLUENCE OF SPECIMEN SIZE ON THE ESTIMATION OF THE SHRINKAGE THE WOOD

Genes, P. Y. y López (h.), J. A.

INTA. EEA Bella Vista. Colonia 3 de Abril (3432) Bella Vista, Corrientes, Argentina
Tel. 03777 451 923 e-mail: ygenes@correo.inta.gov.ar

Resumen

Con el objetivo de comparar los valores de contracciones lineales totales radiales, tangenciales y coeficiente de anisotropía obtenidos con distintos tamaños de probetas sugeridos por varias normas (ISO 4469, IRAM 9543, UNE 56533, NBR 7190, NCh 176/3, ASTM D143, DIN 52124) se confeccionaron un total de 344 probetas de maderas de *Pinus elliottii*, *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* y *Grevillea robusta*. Los principales resultados muestran que no se detectaron diferencias significativas entre los diferentes tamaños de probetas para la estimación de los valores de contracciones radial, tangencial y el coeficiente de anisotropía. Las contracciones medidas en probetas elaboradas a partir de muestras no destructivas (tarugos de 12 mm de \varnothing) no presentaron diferencias con las obtenidas en probetas normadas.

Palabras clave: Contracción radial y tangencial, normas, muestras no destructivas

Summary

In order to compare the total linear shrinkage values of radial, tangential and anisotropy coefficient obtained with different specimen sizes of probes suggested by several norms (ISO 4469, IRAM 9543, UNE 56533, NBR 7190, NCH 176/3, ASTM D143, DIN 52 124) a total of 344 specimens of wood of *Pinus elliottii*, *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* and *Grevillea robusta* were made. The principal results showed no significant differences between different specimen dimensions to estimate the values of radial contraction, tangential contraction and the anisotropy coefficient. Contractions measured in samples elaborated from non-destructive samples (12 mm increment cores) did not differ with those obtained from normed specimen.

Key words: radial and tangential shrinkage, standards, non-destructive samples.

Introducción

La estabilidad dimensional de la madera es caracterizada por las propiedades de contracción e hinchamiento que se dan como consecuencia de los cambios del contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. Toda madera que se seca se contrae, causando disminución en sus dimensiones.

La madera es un material anisotrópico, lo que significa que tiene un comportamiento diferente según la dirección en que se evalúe. De la magnitud de la contracción y de la anisotropía va a depender en gran medida el comportamiento de la madera en su procesamiento y en su posterior uso (O'Neill, 2001).

La mayor alteración dimensional se manifiesta en el sentido tangencial, seguido por el sentido radial y finalmente en la dirección longitudinal por lo cual suele ser despreciable.

Varias normas establecen las metodologías y procedimientos a seguir para determinar contracciones pero las dimensiones de las probetas aconsejadas son muy diferentes, estas pueden variar de 8cm³ a 90 cm³. La norma IRAM 9543 establece la necesidad de tener una probeta para la determinación de la contracción en dirección radial y otra para la determinación de la contracción en dirección tangencial. Para cualquier otra norma la medición de las contracciones en ambas direcciones se realiza sobre una misma probeta.

El presente estudio se desarrolló con el fin de comparar los valores de contracciones lineales totales radiales, tangenciales y coeficiente de anisotropía utilizando distintos tamaños de probetas normadas y libres de defectos.

Materiales y Métodos

Se utilizó material proveniente de dos coníferas y tres latifoliadas: Pino elliottii (*Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*), Pino híbrido (*Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf.), Eucalipto grandis y dunnii (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Eucalyptus dunnii* Maiden) y roble sedoso (*Grevillea robusta* A. Cunn).

El material de estudio consistió en probetas obtenidas a partir de listones de madera procedentes de varios individuos (3 a 5) y edades. Se compararon ocho tamaños de probetas (tratamientos) de las cuales siete se corresponden con normas. También se incluyó en el análisis una probeta de 1 cm x 1 cm x 2 cm simulando un prisma rectangular obtenido a partir de tarugos de 12 mm de diámetro (método no destructivo). En la **Tabla 1** se consignan las normas y dimensiones de las probetas utilizadas para las determinaciones de las contracciones de las maderas y en la **Imagen 1** una vista de las mismas.

Tabla 1. Normas utilizadas, dimensiones y método de ensayo de las probetas.
Table 1. Standards used, dimensions and method of testing samples.

Nº Tratamiento	Normas	Dimensiones (cm)	Métodos
1	Tarugos 12 mm de Ø	1 x 1 x 2	No destructivo
2	ISO 4469 (1981)/ IRAM 9544 (1973)	2 x 2 x 2*	Destructivo
3	ISO 4469 (1981)	2 x 2 x 2,5*	Destructivo
4	IRAM 9543(1966)	2 x 2 x 5**	Destructivo
5	UNE 56533 (1977)	2 x 2 x 4	Destructivo
6	NBR 7190(1997)	2 x 3 x 5	Destructivo
7	NCh 176/3 Of84/ASTM D143 (1997)	2,5 x 2,5 x 10	Destructivo
8	DIN 52124	3 x 3 x 10	Destructivo

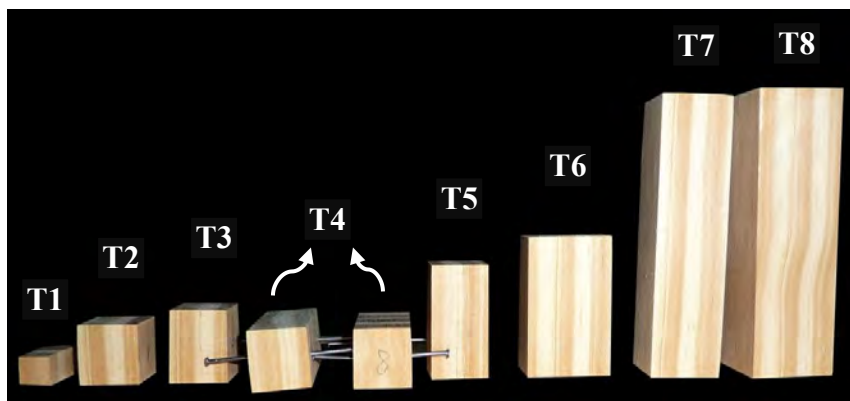


Imagen 1. Diferentes probetas utilizadas.

Image 1. Different samples used

*Esta norma establece que las probetas deben tener forma de prismas rectangulares de 2x2 cm de base y longitud de 1 a 3 cm a lo largo del grano, para este estudio se tomo 2x2 cm de base y longitud a lo largo del grano de 2,0 cm y otra de 2,5 cm. **2 Probetas de 2x2x5 cm con el grano orientado según la contracción a determinar, una para radial y otra para tangencial.

Para cada tratamiento se contó con un total de diez repeticiones por especie a excepción de *Eucalyptus dunnii* que contó con un total de tres repeticiones para cada tratamiento, constituyendo un total de 344 probetas.

Sobre cada probeta se realizó la medición de tres variables: contracción total lineal en dirección radial (Cr), contracción total lineal en dirección tangencial (Ct) y coeficiente de anisotropía (T/R).

Para la determinación de las contracciones totales lineales en dirección radial y tangencial se realizaron mediciones con calibre para cada estado de humedad (saturado y anhidro). Para asegurar la saturación de las probetas las mismas fueron llevadas a inmersión en agua durante 30 días. El estado anhidro se obtuvo en estufa a 103 ± 2 °C.

El coeficiente de anisotropía se obtuvo a través de la razón de la contracción tangencial y la contracción radial.

Se calcularon los estadísticos descriptivos medios para las tres variables consideradas para cada una de las cinco especies. Se realizó el análisis de la varianza para cada variable (Cr, Ct y T/R) por especie para probar la hipótesis nula de igualdad de tratamientos (diferentes tamaños de probetas) utilizando el procedimiento GLM (SAS, 2009).

Resultados y Discusión

En la **Tabla 2** se muestran los valores medios por especie de las Cr, Ct y T/R para cada tamaño de probeta. Allí se puede observar que el ANVA no detectó diferencias significativas para los distintos tamaños de probetas normadas en ninguna de las cinco especies consideradas. Al realizar un análisis conjunto con las cinco especies se obtuvo el mismo resultado. Asimismo, no fue posible observar alguna tendencia que relacione claramente la magnitud de las contracciones con el tamaño de los cuerpos de prueba. Este resultado sugiere la posibilidad de utilizar el tamaño de probeta normada más conveniente de acuerdo a la cantidad de material disponible, sin que se produzcan alteraciones significativas en la estimación de los porcentajes de contracción.

Por otro lado, el hecho de que las contracciones medidas en las probetas elaboradas a partir de muestras no destructivas (tarugos de 12 mm Ø) no se diferenciaron estadísticamente de las obtenidas con probetas normadas, resulta una información de gran importancia para el

mejoramiento genético ya que, además de las propiedades habitualmente cuantificadas a partir de tarugos (densidad, morfología de fibras, etc.) las contracciones radiales y tangenciales también podrían estimarse con dichas muestras cuando se quiera utilizar un método no destructivo. Esta información coincide con la obtenida por O'Neill (2001) quien comparando los valores de la contracción radial y tangencial de *Eucalyptus grandis* en probetas estándares según norma JIS Z 2130 -Estándar Industrial de Japón- con dimensiones de 30 x 30 x 5 mm (método destructivo) y probetas seccionadas de tarugos de 12 mm de Ø (método no destructivo) encontró gran similitud entre los valores de contracción obtenidos entre los dos métodos utilizados.

La información obtenida puede considerarse una importante ayuda al momento de seleccionar el tamaño óptimo de probeta según la cantidad de material disponible.

Si bien de acuerdo a los resultados presentados no habría inconvenientes significativos en elegir algún tamaño de probeta de las evaluadas en este trabajo, la experiencia obtenida durante la presente investigación indica que probetas de 2 x 2x 2,5 cm son fáciles de trabajar y manipular. Es importante tener en cuenta que una probeta de mayor dimensión requiere mayor cantidad de material a la vez se incrementa la probabilidad que la probeta contenga en su interior defectos (nudos, restos de ramas, etc.) que no son visible exteriormente.

Tabla 2. Valores de contracción y anisotropía de las especies.

Table 2. Shrinkage values, anisotropy and species.

Trat.	P. híbrido			P. elliotii			E. grandis			E.dunnii			G. robusta		
	Cr (%)	Ct (%)	T/R*	Cr (%)	Ct (%)	T/R*	Cr (%)	Ct (%)	T/R*	Cr (%)	Ct (%)	T/R*	Cr (%)	Ct (%)	T/R*
T1	4,49	6,92	1,66	5,29	7,94	1,55	4,41	7,62	1,75	7,43	11,73	1,57	3,60	7,99	2,30
T2	4,34	6,18	1,53	5,35	7,41	1,43	4,65	7,67	1,66	7,77	11,60	1,48	3,38	7,57	2,30
T3	4,00	6,04	1,57	5,58	7,20	1,32	4,61	7,75	1,72	7,58	11,65	1,53	3,27	7,65	2,40
T4	3,26	6,12	1,92	4,56	7,05	1,62	4,00	7,66	1,91	7,01	11,35	1,62	3,27	7,21	2,26
T5	3,80	6,04	1,63	4,88	7,04	1,50	4,29	8,10	1,90	7,19	11,54	1,61	3,31	7,22	2,28
T6	3,63	6,32	1,79	4,99	6,98	1,44	4,65	8,55	1,85	7,25	11,36	1,56	3,03	7,54	2,56
T7	3,84	5,89	1,56	5,30	7,08	1,40	4,53	8,34	1,83	7,43	11,07	1,49	2,69	6,76	2,52
T8	4,40	6,31	1,50	5,13	7,14	1,48	4,42	7,66	1,74	7,53	11,18	1,48	3,13	7,47	2,45
Pr >F	0,206	0,103	0,080	0,794	0,313	0,396	0,708	0,873	0,483	0,448	0,899	0,077	0,374	0,364	0,386

Cr: contracción radial, Ct: contracción tangencial, T/R: coeficiente de anisotropía. Para el ANVA se utilizó una transformación angular para Cr y Ct. Para T/R se utilizó una transformación de raíz cuadrada. Los valores medios se presentan sin transformar. *Adimensional.

Conclusiones

No se detectaron diferencias significativas entre los diferentes tamaños de probetas para la estimación de los valores de contracción radial y tangencial como tampoco en el coeficiente de anisotropía. Este resultado sugiere la posibilidad de utilizar el tamaño de probeta normada más conveniente de acuerdo a la cantidad de material disponible, sin que se produzcan alteraciones significativas en la estimación de los porcentajes de contracción.

Las contracciones medidas en probetas elaboradas a partir de muestras no destructivas (tarugos de 12 mm Ø) no presentaron diferencias con las obtenidas en probetas normadas, indicando que además de las propiedades habitualmente cuantificadas a partir de tarugos, también las contracciones radiales y tangenciales podrían estimarse con dichas muestras cuando se quiera utilizar un método no destructivo.

Bibliografía

- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 7190:1997 Projeto de estruturas de madeira. B.7. Estabilidade dimensional da madeira. Brasil
- ASTM. 1997. Standard methods for testing small clear specimens of timber. ASTM D143-94. Phyladelphia, PA. American Society for testing and materials.
- INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). 1984. Nch. 176/3 Of 84. Determinación de la contracción radial y tangencial.
- Instituto Argentino de Normalización. 1966. Norma IRAM 9543: Método de determinación de las contracciones totales, axil, radial y tangencial y el punto de saturación de las fi bras. Buenos Aires.Argentina.
- Instituto Argentino de Normalización. 1973. Norma IRAM 9544: Maderas. Método de determinación de la densidad aparente. Buenos Aires. Argentina.
- International Organization for Standardization. Norma ISO 4469-1981 . Wood - Determination of Radial and Tangential Shrinkage.
- O'Neill, H. 2001. Métodos de ensayos no-destructivos para la evaluación de las propiedades mecánicas y fundamentales de la madera. Simposio Internacional IUFRO (División 2). Desarrollando el eucalipto del futuro. Setiembre, 2001, Chile.
- SAS. 2009. SAS System for Windows V8. Sitio INTA 14759001.
- UNE 56533:1977. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de las contracciones lineal y volumétrica.

MEJORA DE LA CALIDAD DE SECADO DE *Pinus* spp. EN SECADEROS CONVENCIONALES DE MADERA ASERRADA EN ELDORADO, EN MISIONES

IMPROVEMENT OF QUALITY DRYING OF *Pinus* spp. IN CONVENTIONAL KILN DRIERS IN ELDORADO, MISIONES

Marek, M.¹; Kramer, L.²

¹ – Docente de Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Misiones, Consultor foresto industrial. Evaluador de Rol “Operador de cámara de secado de la madera”, acreditado por Organismo Certificador Sectorial Trabajadores de la Madera, AFOA/RITIM/FAIMA/USIMRA. (<http://cert-labor-madera.org.ar>). Bertoni 124 – Eldorado – Misiones- marcelo_marek@yahoo.de.

² – Jefe de planta Aserradero Aguilar SRL. Ruta Prov. 17, km. 17, 9 de Julio, Misiones.

Resumen

La mejora del proceso de secado de madera de *Pinus* spp. es de fundamental importancia, por lo que se debe experimentar en planta para determinar el impacto de las mismas en el proceso industrial, tanto “duras” (referidas a las condiciones de la cámara de secado), como “blandas” (curvas de secado, apilado, etc.). Algunos fabricantes han implementado adelantos técnicos para ofrecer a sus clientes algunas opciones para mejorar la circulación del aire, tales como equipamientos adicionales, deflectores, etc. El presente estudio tiene por objetivo evaluar los beneficios de implementar algunas mejoras técnicas de equipamiento básico y algunas buenas prácticas en secaderos, para disminuir los defectos de secado. A través de los datos obtenidos, se observa la disminución de defectos de secado en Pino spp. del 41% de piezas no conformes de la parte superior de la carga, un 50 % del resto de carga, y 59 % de la madera húmeda en secaderos de madera del tipo convencional en Misiones, Argentina

Palabras-claves: Secaderos de madera, calidad de secado, *Pinus* spp, defectos de secado

Summary

The drying improving of *Pinus* spp. is a process of fundamental importance, and must be carrying out tests to determine the impact of industrial process improvement. Some kiln manufacturers have implemented technical developments to offer their customers some options to improve air circulation, with equipments, etc. The present study aims to evaluate the benefits of implementing these technical improvements, both of equipment and good practice in existing drying plant, in order to reduce drying defects. Through the data obtained shows the decrease of drying defects in Pine spp. in the order of 41% of defective boards on top of the load, a 50% of remaining charge, and 59% of wet wood in conventional wood dryers in Misiones, Argentina.

Key-words: Kiln driers, drying of Wood, Quality drying of softwood lumber, *Pinus* spp. defects of drying of wood

Introducción

El sector forestoindustrial, de la Provincia de Misiones se caracteriza por ser la más importante del país, con aproximadamente unas 800 industrias madereras, fabrica de tableros compensados y MDF y celulósicas conforman el parque industrial (SIFIP, 2009)

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

La mayoría de ellas, cerca de un 70 %, se encuentran sobre la ruta 12 y las restantes en torno a la ruta 14. Aproximadamente el 80% utilizan madera implantada como materia prima, en tanto restante utiliza especies nativas.

Predominan los aserraderos de pequeño tamaño, donde la capacidad de producción es inferior a 1.725 m³/año (87%), y detallados como se ve en la tabla 1.

Tabla 1: Cantidad de empresas por niveles productivos en la provincia de Misiones (en m³/año) (SIFIP, 2009)

Table 1: Number of lumber companies, by production's level in Misiones (in m³/year)

Variable	Pequeñas empresas					Medianas	Medianas Grandes	Grandes
	0-575	575-863	863-1725	1725-3450	3450-6900			
Producción (m ³ /año)			863-1725	1725-3450	3450-6900	6900-21850	21850-42000	>42000
Nº Empresas	521	44	74	41	21	23	4	3
Porcentaje	71,3%	6,0%	10,1%	5,6%	2,9%	3,1%	0,5%	0,4%
Acumulado	71,3%	77,3%	87,4%	93,0%	95,9%	99,0%	99,6%	100,0%

Generalizado, las empresas que producen volúmenes anuales superiores a 1725 m³/año (63.500 p2/mes) de Pino son las que cuentan con instalaciones de secado.

Las primeras instalaciones de secado fueron realizadas a fines de los años 70, pero el fuerte impulso se tuvo a finales de los años 80; y durante muchos años fue una fuerte limitación para la exportación, y generación de productos de calidad. Aún al día de hoy representa una exigencia, por la elevación del estándar de calidad que exige el cliente, que quiere adquirir únicamente madera seca, a diferencia de hace escasos años que prácticamente no existía esta exigencia (UNPRE, 2006)

Ocurre que utilización industrial exige que tenga contenidos de humedad bajos. Por el contrario, durante la eliminación del agua, la madera puede sufrir cambios no deseados en su forma y color o ser atacada por insectos u hongos. Si estos defectos no pueden ser controlados es posible que la madera se convierta en un material no apropiado para los diversos usos a que podría destinarse, ya que la aparición de defectos tales como grietas, rajaduras y deformaciones limita sus aplicaciones y favorece su reemplazo por otros materiales más estables respecto de sus dimensiones (Atencia, Testadiferro, 2000).

Es importante considerar que el desarrollo de la forestoindustria depende, entre otros factores, de la capacidad y la calidad de secado de madera. Contar con un proceso de secado eficiente es fundamental para proveer productos de alto valor agregado, como para elevar la competitividad de la industria. Esto último responde a que el proceso de secado es el que mayor tiempo y energía consume; y el que más fuerte impacto tiene en la aptitud y calidad de la madera seca para productos remanufacturados. Es por ello que disminuir los tiempos de secado manteniendo la calidad redundaría en mayor productividad y menores costos energéticos (UNPRE, 2006)

Por ello, se entiende que contar con la tecnología adecuada y un proceso de secado eficiente son premisas fundamentales para impulsar el desarrollo del sector forestoindustrial, tanto en lo que respecta a elevar el nivel de valor agregado como en cuanto a su competitividad (Pezo, 2009)

Estos “costos de la no calidad” inciden significativamente, con un alto volumen desclasificado por defectos, y el empresario ve en las mejoras de ingeniería una solución a esta problemática (Kanawaty, 1996)

Es por ello que se aplican diversas mejoras tecnológicas, tanto “duras” como ser mejoras de las instalaciones y equipamiento, así como también las “blandas”, como manejo de la curva de secado, mejores prácticas, etc. También existe una especie de mito; que solamente por medio del programa de secado se podría resolver los problemas de secado, dejando de lado aspectos del sentido común, como ser calidad de apilado, hermeticidad de la cámara de secado, estado de la burlería, aplicación de deflectores, entre diversos factores técnicos (Simpson, 1991)

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las mejoras en la calidad de secado, a escala industrial, producto de las mejoras en las instalaciones de secado, aplicando algunas recomendaciones prácticas dadas por centros de investigaciones, y fabricantes de secadero de primer nivel tecnológico a nivel mundial (Hildebrandt, 1970; Milota, Boone, Danielson y Huber; 1991; Pezo, 2009).

Materiales y métodos

Caracterización de las cámaras estudiadas

El presente trabajo se llevó a cabo en dos cámaras de secado de capacidad de 40 m³. Los equipos son de un aserradero de la zona; y corresponden a los primeros instalados en 1995-1996 por los fabricantes Göttert y Benecke. Cuentan con automatización TK-MP 301 de Gann- Mes und Regeltechnik-GmbH (Göttert), y Marrari Automação Sistema Smart Dry MR-500, respectivamente.

El sistema de carga corresponde al tipo zorras sobre rieles. Las cámaras son del tipo mixto con dos paredes de 150 mm de ladrillos prensados a la vista, y una capa intermedia de poliestireno expandido (EPS) de alta densidad (conocido comercialmente en Argentina como “telgopor”), de 50 mm.

Las puertas de chapa de aluminio espesor aproximado de 0,9 mm, con aislante de lana de vidrio de unos 100 mm.

En general el estado de las cámaras es bueno, con un correcto funcionamiento mecánico de la automatización (termocuplas, psicrómetro, etc), así como también los ventiladores, actuadores de ventilas, electroválvulas e instrumental. Todo esto fue cotejado en el trabajo de asesoramiento efectuado, como primera medida.

Como particularidad, durante el periodo de estudio (año 2003), estas cámaras estaban abastecidas por vapor de una caldera Benecke de 2000 kg/h de vapor, con alimentación de combustible sólido (costaneros y despuentes), mezclado con aserrín seco, pero realizado en forma manual, lo que no favorecía lograr una presión de vapor uniforme en caldera, especialmente durante las horas sin supervisión.

Relevamiento de datos

El relevamiento fue realizado durante 3 meses durante el año 2003, correspondiente a la medición de la madera con defectos obtenida luego de cada ciclo de secado. La madera relevada corresponde a madera de Pino de 1” de espesor nominal (real, 29 mm), en su totalidad y anchos también nominales de 4” y 5” (110 y 135 mm), correspondiente al 80 % de los anchos producidos, por ser la escuadría objetivo, deseada para producir madera machihembrada en la misma empresa.

Los datos relevados fueron analizados con planilla de cálculo, para determinar los porcentajes de madera defectuosa según las pautas usuales de clasificación de la empresa Aserradero Aguilar SRL. Los datos fueron usados para considerar una inversión mayor para las mejoras, mediante deflectores de chapa de aluminio, etc. y fueron de uso interno por mucho tiempo, posibilitando su publicación recientemente.

Metodología

15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina

Condiciones de la cámara o variables independientes:

Para el estudio se relevaron algunas de las condiciones, se desarrolló un formulario para al efecto, elaborado según las pautas fijadas por la bibliografía, las necesidades específicas de mejora (excesivo alabeos), y la experiencia del consultor, que por razones de espacio no se puede anexar, pero se puede consultar (MILOTA, BOONE, DANIELSON y HUBER; 1991) Se relevaron las siguientes variables,

1. Calidad de estibado o apilado de madera: Esto determina en gran medida el correcto secado, porque en función de un correcto estibado se logrará un mejor secado o no. Si bien esto incluye muchos conceptos, se tuvo en cuenta los siguientes, los cuales se detallan esquemáticamente en Anexo I:

- a) Empalme de los paquetes para acomodar cargas cortas
 - b) Alineación de los separadores
 - c) Colocación de tacos
 - d) Superficie de los paquetes, al borde de la zorra
 - e) Espaciamiento entre estibas de paquetes de una misma zorra
 - f) Tapar los espacios de los tacos, entre paquetes de un frente de estiba
2. Presencia o no de mejoras en las instalaciones (deflectores, etc).

Para lograr la implementación de las mejoras en el secadero se trabajó en conjunto con el sector de mantenimiento para construir e instalar los deflectores rebatibles que se hicieron primeramente de madera, a modo de prueba.

Con la supervisión de producción se trabajó en mejorar la alineación de los separadores, y en la implementación de las buenas prácticas de manufactura (BPM) en el secado de madera aserrada. Esto es por ejemplo: mejorar el estibado de madera y alineación de separadores en el sector aserradero; así como también lograr con la ayuda de maquinistas y operadores de secado-calderistas para una mejor carga de la zorra, cubrir el espacio entre paquetes, entre tacos, etc. como se indica en Anexo I. para ello se trabajó en la redacción de material didáctico e instructivos y capacitación “*in company*” y auditorías externas del consultor. Posteriormente a la implementación, se procedió a controlar estadísticamente la evolución de la madera “no conforme, para evaluar el impacto de medidas.

Variable respuesta:

Como variable respuesta se tomaron dos aspectos que podrían tener una relación respecto a las variables a ser trabajadas, indicadas anteriormente.

1. Velocidad del aire: Esto se midió a la salida de la estiba, con un anemómetro digital manual portátil, de turbina separada. Marca Prova AVM-01, promedio de 9 posiciones (el medio y a los extremos de la carga, a tres alturas diferentes).

2. Defectos de secado según normas internas: Reglas claras y muy empíricas, que se pueden resumir en 3 aspectos

a) Alabeadas de la cámara superior del último paquete (superior): Es la madera que está en la parte superior de la última estiba, que carece de presión de la carga (la empresa no usa contrapesos), y está sujeta a una mayor exigencia de secado, por estar en la periferia del paquete sin peso encima, sometidos a una mayor circulación de aire.

b) Alabeadas de interior del paquete: Son las piezas que a pesar de estar presionadas por tablas superiores y separadores o tacos., se alabean por diversos motivos.

c) Humedad por debajo del 16 %, medida con un Xilohigrómetro Wagner MMC220, portátil, usado por el operario encargado de la clasificación. Se rechazan piezas por encima del 16 % por producir defectos de cepillado en el machimbre.

Se entiende el término “torcidas” a las piezas que son clasificadas visualmente, por indicación del supervisor al presentar valores muy altos de arqueaduras, torceduras o alabeos considerables que impiden su procesamiento en la machimbradora o que causen defectos

como la falta de cepillado. Esto se hace en forma separada, cámara por cámara, lo que facilita el control y permite la existencia de una estadística histórica de la planta de secado

Resultados y discusión

Los valores de “Antes” expresan en la tabla 2, donde se han puesto los datos el secado de 6 ciclos, 3 de cada equipo. Los valores previos a la implementación de las mejoras arrojaban un promedio de 1,69 m³ por ciclo de secado, que expresado porcentualmente da un 4 %. Respecto a la madera húmeda, el valor por cámara es de 1,42 m³, una proporción del 3,3% del total.

La velocidad de circulación del aire da un promedio de 3,39 m/s

Tabla 2: Indicadores de calidad “antes de las mejoras”, expresados en volumen (m³) y porcentaje de la carga (%)

Table 2: Quality indicators “before improvements”, expressed in volume (m³) and Percentage of the load (%)

Variable\Carga	Carga #1	Carga #2	Carga #3	Carga #4	Carga #5	Carga #6	Promedio
Vel. del aire (m/s)	s/d	s/d	3,84	3,15	3,12	3,45	3,39
Total Carga (m ³)	42,63	42,45	42,66	42,20	42,31	42,51	42,46
Torcidas de 1° capa paq. superior (m ³)	0,77	0,81	0,72	0,75	0,90	0,83	0,80
Torc. interior (m ³)	1,07	0,75	1,04	0,93	1,04	0,51	0,89
Total torcidos (m ³)	1,84	1,56	1,76	1,68	1,94	1,34	1,69
Húmedos (m ³)	1,34	1,13	2,00	0,66	2,18	1,22	1,42
Proporción Torcidos	4,3%	3,7%	4,1%	4,0%	4,6%	3,2%	4,0%
Proporción de Húmedos	3,2%	2,7%	4,7%	1,6%	5,1%	2,9%	3,3%

Los valores posteriores a las mejoras, se muestran en la tabla 3, ordenado de la misma forma que la anterior. Las cifras arrojaban un promedio de 0,44 m³ por ciclo de secado, que expresado porcentualmente da un 2,2 %. Respecto a la madera húmeda, el valor por cámara es de 0,91 m³, una proporción del 1,4% del total.

Tabla 3: Indicadores de calidad “después de las mejoras”, expresados en volumen (m³) y porcentaje de la carga (%)

Table 3: Quality indicators “after improvements”, in volume (m³) and percentage of the load (%)

	Carga #1	Carga #2	Carga #3	Carga #4	Carga #5	Carga #6	Promedio
Vel. del aire (m/s)							
Total Carga (m ³)	3,80	3,79	3,79	3,47	3,78	4,22	3,81
Torcidas de 1° capa paq. superior (m ³)	42,51	42,32	42,66	42,34	42,48	42,60	42,49
Torc. interior (m ³)	0,37	0,42	0,48	0,47	0,51	0,59	0,47
Total torcidos (m ³)	0,37	0,23	0,63	0,60	0,39	0,43	0,44
Húmedos (m ³)	0,74	0,64	1,10	1,07	0,90	1,02	0,91
Proporción Torcidos	0,62	0,45	0,82	0,09	0,83	0,67	0,58
Proporción de Húmedos	1,7%	1,5%	2,6%	2,5%	2,1%	2,4%	2,2%
Vel. del aire (m/s)	1,5%	1,1%	1,9%	0,2%	1,9%	1,6%	1,4%

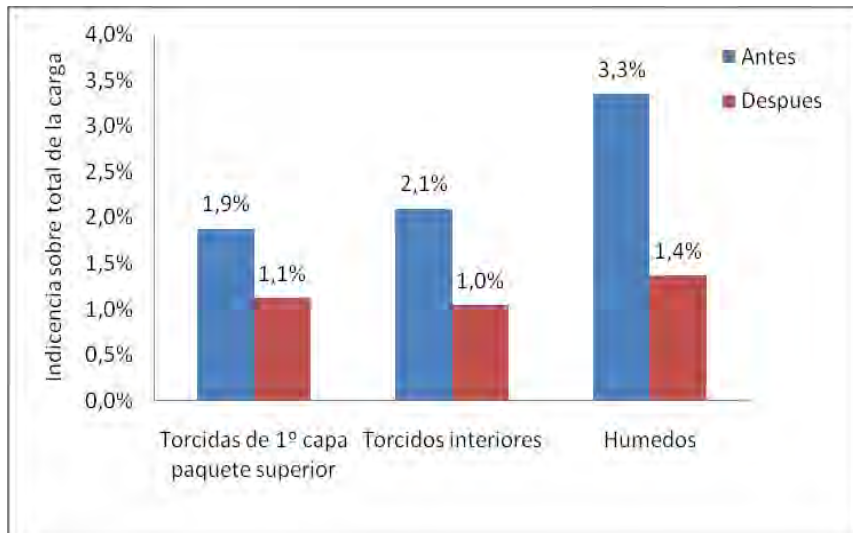


Grafico 1: Evolución de los defectos de secado antes y después de la implementación de las mejoras, expresados en porcentaje de la madera seca clasificada.

Graphic 1: Evolution of drying defects, before and after the improvement in the kiln drier, in proportion to dry lumber classified.

Tabla 4: Indicadores de calidad “Antes” y “Después” de las mejoras y su diferencia, expresados en porcentaje de la carga (%).

Table 4: Quality indicators "Before" and "After" of the improvements and they difference, expressed as a percentage of the load (%).

Grafico	Antes	Después	Diferencia
Torcidas de 1º capa paquete superior	1,9%	1,1%	-0,76%
Torcidos interiores	2,1%	1,0%	-1,06%
Húmedos	3,3%	1,4%	-1,98%

Como se esperaba desde la referencia de la teoría del secado en cámara, la mejora fue importante y coincidente con trabajos llevados a cabo por DENIG, HANOVER, y HART; 1988 y PEZO, 2009.

El promedio de la madera alabeada o torcida de la primer capa del paquete superior paso de 1,9% a un 1,1%, lo que significa una variación de -0,76 % lo cual es muy importante porque esta madera al no tener apoyo, las arqueaduras, alabeos son muy significativos, y esta madera prácticamente no tiene uso y debe ser desechada; por lo cual constituye una pérdida total de material.

Respecto a las piezas denominadas “torcidos interiores”, estas pasaron de 2,1% a 1,0 %, que es una disminución superior al 100 %. Si bien esta madera generalmente es recuperada para largos inferiores o material de acomodación para despachos, es importante que haya bajado porque permite a la empresa contar con mayor cantidad de madera, y utilizar otros productos de menor valor agregado para los usos mencionados.

Finalmente, también bajó la proporción de madera húmeda de 3,3% a 1,4 % y esto representa un cambio importante. Si bien esta materia no se deteriora por el secado, requiere un nuevo secado que operativamente es un problema. Esta madera húmeda no puede ser secada con el resto de la madera verde, y se debe secar al aire libre (si se dan las condiciones)

o sino esperar a completar una carga de madera húmeda, considerando que no tiene sentido secar una carga de madera incompleta, por la deficiente circulación del aire, e inestabilidad de la carga, que representa un riesgo. Por otro lado, acumular material ocasiona el riesgo de que se manche (mancha azul), y si se debe resecar, genera una sobrecarga a la ya limitada capacidad instalada de secado de la empresa, que es algo muy frecuente en el sector industrial por ser un proceso discontinuo.

Conclusiones

Fue posible verificar que las mejoras en las instalaciones de secado tuvieron un efecto positivo en el desempeño de los equipos, mejorando la velocidad de circulación de aire, y los indicadores de calidad tenidos en cuenta por la empresa para sus exigencias técnicas.

Esto repercutió positivamente en la disminución de costos, y en una mayor competitividad de la empresa; en la importancia de incorporar conocimiento técnico y profesional en el proceso de la elaboración de maderas; y especialmente en la necesidad de llevar el control de indicadores de producción.

El hecho de que los defectos de secado disminuyeran a la mitad justifica la mejora instalación de dispositivos como deflectores en las cámaras existentes, por más que signifiquen en algunos casos un contratiempo desde el punto de vista del operador, y una inversión importante; así como la de tener en cuenta esto para adquirir equipos en el futuro. Los valores obtenidos avala la decisión de la empresa de mejorar las prácticas de manufactura (BPM) referidas al secado y apostar a la capacitación del personal como una fuente de mejora continua de los procesos.

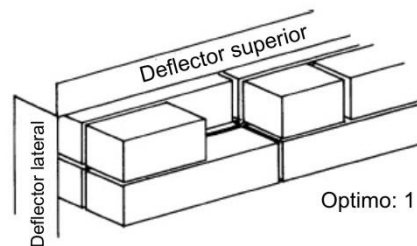
Bibliografía

- ATENCIA, M. E.; TESTADIFERRO, C. K. Optimización de procesos de secado de madera aserrada a partir de un relevamiento nacional de empresas madereras. Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria de la Madera y Afines (CITEMA) Instituto Nacional de Tecnología Industrial – Boletín INTI-CITEMA Octubre 2000.
- DENIG, J.; HANOVER, S. Y HART, C.; 1988. Kiln Drying Southern Yellow Pine Lumber.
- GOTTERT, 2008. Hojas de Proceso. Proceso Estibas de Madera. Manual de Secaderos fabricados posteriormente al año 2007.
- HILDEBRANDT, 1970. Kiln Drying of Saw Timber. Nuertinger. Alemania
- KANAWATY, G., 1996. Introducción al estudio del trabajo. 4ª Edición. Editorial: Editorial : Oficina Internacional del Trabajo (OIT). Ginebra, Suiza. ISBN 9789223071080
- MILOTA, M.; BOONE, R.; DANIELSON, J. Y HUBER, D.; 1991. “Quality Drying of Softwood Lumber: Guidebook and Checklist”. Gen. Tech. Rep. FPL-IMP-GTR-1, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory. 50 p.
- PEZO, J. 2009. “Secado de Madera”. Mahild. Mahild Drying Technologies GMBH - Meisenweg 1 72622 Nürtingen / Germany
- SIFIP, 2009. Accedido 10-2-2012 en: <http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/index.php> y otros datos inéditos.
- SIMPSON, 1991 Dry Kiln Operator's Manual - Forest Products Laboratory – USDA. Publication: USDA Agricultural Handbook AH-188, Accedido 10-2-2010 en: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/usda/ah188/chapter05.pdf>
- UNPRE, 2006. Capacidad de secado en la industria forestal de la provincia de Misiones. Estudio 1.EE.278 - Consultoría Individual Unidad de Preinversión (UNPRE) Programa Multisectorial de Preinversión II- Préstamo BID 925 OC-AR - Secretaría de Política Económica Ministerio de Economía y Producción de la Nación

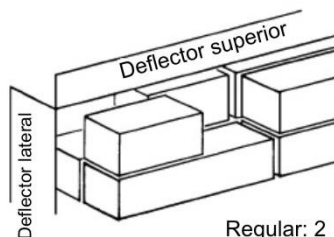
ANEXO I: CALIDAD DE APILADO DE MADERA

a) Empalme de los paquetes para acomodar cargas cortas:

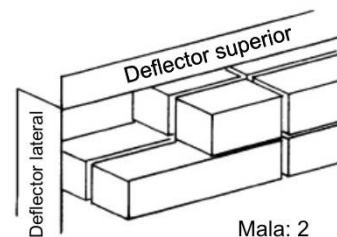
Si fuera posible, todos los paquetes tener la misma longitud. Cuando esto no es posible, los paquetes más cortos se deben colocar en la parte superior de los paquetes más largos. Si hay paquetes más cortos tienen que ser puestos escalonados de manera que no se dejan huecos. Se evalúa gráficamente según el siguiente esquema



Optimo: 1



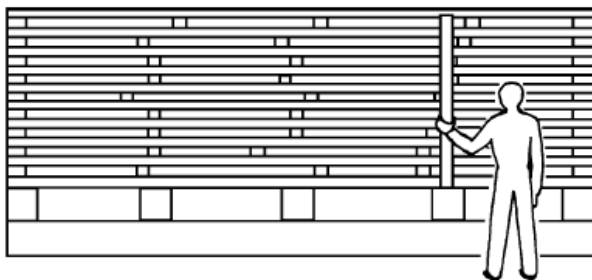
Regular: 2



Mala: 2

b) Alineación de los separadores

Esto es importante porque si no están alineados, las tablas se deforman por el propio peso, y se secan bajo esas condiciones; originando defectos de cepillado.



Método de chequeo de alineación de los separadores, sosteniendo un separador verticalmente frente a la columna de separadores. Ejemplos de abajo, los separadores en color negro están desalineados.



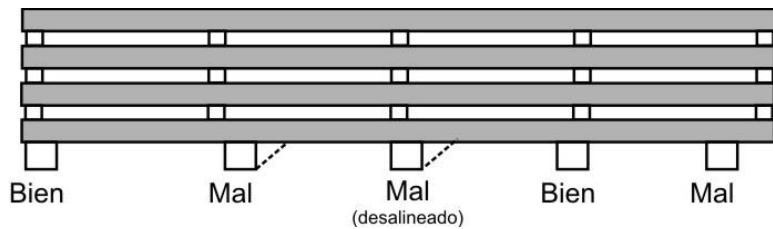
Bien alineados



Mal alineados

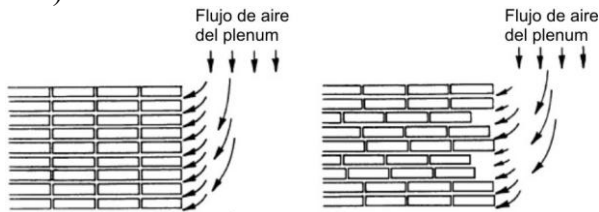
c) Correcta colocación de tacos

Los tacos deben ser colocados en alineados con los separadores. Esto asegura que el peso de la madera se transfiera a través de la columna de separadores, sin causar arqueaduras o torceduras



d) Mejor armado superficie de los paquetes, al borde de la zorra

Laterales del paquete desparejos dan un flujo no uniforme. La desalineación de los laterales en lo posible debe ser menor 3 cm de. (La longitud de las flechas es proporcional al flujo de aire)



e) Espaciamiento entre estibas de paquetes de una misma zorra

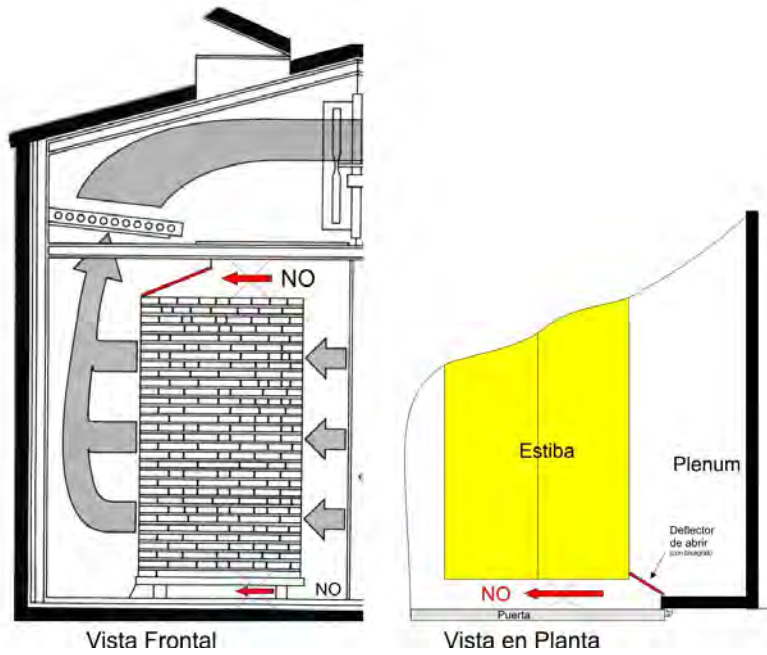
En el armado de las dos estibas por zorra es importante verificar que el aire pase fácilmente de un paquete al adyacente. El operador de carga debe dejar un espacio de 50 a 75 mm para permitir que esto actúe colector entre los dos paquetes, especialmente si no se puede ver de un lado al otro, porque hay diferencias en altura como se ve en la figura. Esto permite que el aire el primer paquete y que la "cámara" proporcione el flujo de aire uniforme a través del segundo paquete.

La cámara o chimenea debe estar cerrada en la parte superior, empujando con la uña de la máquina 1 o 2 camadas de tablas; de lo contrario, el flujo de aire escaparse por la parte superior.



Chimenea para el flujo a través de la estiba. (La longitud de las flechas es proporcional al flujo de aire)

f) Deflectores:



Los deflectores tienen la función de dirigir el aire a través de la madera, en lugar de dejarlo ir alrededor de los extremos de paquetes o por la parte superior, o debajo de la carga. No colocarlos ocasiona madera muy seca en la parte superior, y un secado desigual, además que se requiere mayor tiempo de secado, y se produce un malgasto de la energía. Los deflectores deben ser colocados al ras contra toda la carga y ser asegurados para que no se muevan durante el secado. Como la madera se contrae en el secado, la carga queda menos alta, por lo que el deflector debe tener una articulación para bajar.

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE FAMILIAS DE *Eucalyptus tereticornis* SMITH PLANTADOS EN SANTIAGO DEL ESTERO. (PRIMEROS RESULTADOS).

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FAMILIES *Eucalyptus tereticornis* SMITH PLANTED IN SANTIAGO DEL ESTERO. (FIRSTS RESULTS).

Pan E.¹; Umlandt C. M.²

¹Msc. Ing. en Ind. Forestales, Profesora Asociada, Cátedra de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. epan@unse.edu.ar

²Estudiante de Ing. en Industrias Forestales, Ayudante de Segunda Categoría, Cátedra de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. maxiu81@live.com

Resumen

Eucalyptus tereticornis, es una especie potencialmente adecuada para el cultivo de bosques con fines industriales en Santiago del Estero, debido a sus características de rápido crecimiento, capacidad de adaptación a diversos ambientes y estrategias de regeneración. El objeto de este trabajo fue determinar densidad, contracciones, coeficientes de retractabilidad y flexión estática, en individuos pertenecientes a un ensayo de familias de *Eucalyptus tereticornis* de 12 años de edad plantados en Santiago del Estero. Las probetas fueron elaboradas y dimensionadas de acuerdo a lo prescripto por Normas IRAM 9544, 9542 y DIN 52184. Los resultados preliminares muestran que los valores obtenidos son bajos comparados con los reportados por Tinto (1979), y por Coronel (1995), para madera de *Eucalyptus tereticornis*.

Palabras clave: Eucaliptus, Familias, Propiedades.

Summary

Eucalyptus tereticornis is a species potentially suitable for the cultivation of forests for industrial purposes in Santiago del Estero, owing to their fast growth, adaptability to various environments and regeneration strategies. The purpose of this study was to determine density, shrinkage, and coefficient of static bendingretractability in individuals belonging to a trial of *Eucalyptus tereticornis* families 12 years old planted in Santiago del Estero. The specimens were prepared and sized according to the prescribed by IRAM 9544, 9542 and DIN 52184. Preliminary results show that the values obtained are low compared with those reported by Tinto (1979), and Colonel (1995), wood of *Eucalyptus tereticornis*.

Key words: Eucalyptus, Family, Property.

Introducción

Las plantaciones forestales deben responder a la demanda de la industria forestal a mediano y largo plazo, ya que la composición de los bosques naturales no permite atenderla, debido a la diversidad de las dimensiones y calidad de madera que ofrece (Cabrera Gaillard, 2003, citado por Salto, 2008). El uso de especies introducidas ofrece ventajas sobre las nativas, si se las compara en velocidades de crecimiento y turnos de aprovechamiento.

Eucalyptus tereticornis, es una especie potencialmente adecuada para el cultivo de bosques con fines industriales en Santiago del Estero, debido a sus características de rápido crecimiento, capacidad de adaptación a diversos ambientes y estrategias de regeneración, siendo además, resistente a fríos, Coronel (1994). La madera de *Eucalyptus tereticornis* se ubica dentro del grupo de las “pesadas” o “coloradas”. Presenta buenas propiedades físicas y mecánicas, soporta calores excesivos prosperando en suelos húmedos pero también secos y salados, Manteros (1998) y FAO (1998).

Según Tinto (1978), siendo de grano entrecruzado, dándole esta característica una difícil trabajabilidad, y por su alta densidad ($0,85 - 1,0 \text{ kg/dm}^3$) y dureza es apta para fines energéticos (leña y carbón) y a su vez por su resistencia y durabilidad es apta para productos de madera sólida (pisos y parquet).

Por ello considerando las buenas características tecnológicas del *Eucalyptus tereticornis* maduro, el objeto de este trabajo fue determinar densidad, contracciones, coeficientes de retractabilidad y flexión estática, en individuos pertenecientes a un ensayo de familias de *Eucalyptus tereticornis* de 12 años de edad plantados en Santiago del Estero.

Materiales y Métodos

El material consistió en individuos pertenecientes a familias de *Eucalyptus tereticornis*, provenientes de un ensayo de mejoramiento genético establecido en 1996, utilizando un diseño experimental de bloques compactos al azar, con 4 repeticiones y parcelas lineales de 5 árboles, implantados en el Estación Experimental Fernández, de la Ciudad de Fernández, Departamento Robles, Provincia de Santiago del Estero, Argentina.

Se seleccionaron familias obtenidas de un ranking de productividad, con apariencia sana, de buen porte y sin defecto de forma.

Preparación de las probetas

Para los ensayos físicos – mecánicos, se seleccionó una troza de 1,40 m de largo, de acuerdo a Norma Copant 458, siendo aserrada longitudinalmente para la obtención de un tablón central de 8 cm de espesor, que fue protegido con pintura asfáltica en sus caras transversales para evitar una desecación brusca. Las probetas fueron elaboradas y dimensionadas de acuerdo a lo prescripto por Normas IRAM 9544, 9542 y DIN 52184.

Densidad

Para la determinación de esta propiedad física se siguió la metodología prescripta por Norma IRAM 9544.

Contracciones y estabilidad dimensional

Para la determinación de las contracciones lineales, volumétricas y estabilidad dimensional, valorada en base de coeficiente de retractabilidad, se siguió la metodología prescripta por Normas DIN 52184.

Flexión estática

Para la determinación de esta propiedad mecánica se siguió la metodología prescripta por Norma IRAM 9542, obteniéndose el MOR en N/mm^2 .

Resultados

las siguientes tablas se presentan los valores de densidad anhidra, contracciones lineales y volumétricas, coeficiente de retractabilidad y flexión estática de diferentes familias de *Eucalyptus tereticornis*.

Tabla N°1: Densidad promedio de 5 familias de *Eucalyptus tereticornis*.
Table N°1: Average density of 5 families of *Eucalyptus tereticornis*

Familias	Densidad anhidra promedio g/cm ³
30	0,62
28	0,72
15	0,70
23	0,74
86	0,73

Comparando estos valores de madera joven de E. Tereticornis plantados en Santiago del Estero con los reportados por Tinto (1979 y 1991), para madera madura de *Eucalyptus tereticornis* (0,950g/cm³); son bajos.

Tabla N°2: Contracciones radial (β_r), tangencial (β_t), longitudinal (β_l) y volumétrica (β_{vol}) promedio de 2 familias de *Eucalyptus tereticornis*.

Table N°2: Radial contraction (β_r), tangential (β_t), longitudinal (β_l) and volumetric (vol β) average 2 families of *Eucalyptus tereticornis*.

Familias	Contracciones %			
	β_r	β_t	β_l	β_{vol}
86	7,48	13,90	0,33	21,71
23	7,00	13,00	0,70	20,70

Tabla N°3: Coeficiente de retractabilidad volumétrico promedio de 2 familias de *Eucalyptus tereticornis*.

Table N°3: Volumetric coefficient retractability average of 2 families of *Eucalyptus tereticornis*.

Familias	Qvol
86	0,34
23	0,40

Tabla N°4: Flexión estática (MOR) promedio de 2 familias de *Eucalyptus tereticornis*.

Table N°4: Static bending (MOR) average of 2 families of *Eucalyptus tereticornis*.

Familias	σ_{flex} (N/mm ²)
86	68,86
23	99,84

Los valores promedio de MOR obtenidos para madera joven de *Eucalyptus tereticornis* son bajos, si se los compara con el valor reportado por Coronel 1995 para la especie *Eucalyptus tereticornis* ($\sigma_{flex} = 115,78$ (N/mm²); lo cual podría indicar la presencia de madera juvenil en el leño de estos árboles jóvenes muestreados.

Bibliografía

- Acosta Sánchez, M. 1995. Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto. San Pablo. Brasil.
- Coronel, E. 1989. Estudio y determinación de las propiedades físico – mecánicas de las maderas del parque Chaqueño. Valores y variaciones de las propiedades. Primera parte. Instituto de tecnología de la madera Serie de publicaciones 8906, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Marcó, M. A.; Harrand, L. 2005. Valor Potencial de los Eucaliptos Colorados en Combinaciones Híbridas. I Jornada Sobre Potencialidad Foresto-Industrial del Eucalipto en Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina.
- Pan y Medina, 2006. Estudios tecnológicos de especies y procedencias de *Eucalyptus colorados* (*Eucalyptus camaldulensis* y *tereticornis*) y *Eucalyptus grandis*; para su utilización como madera sólida. Proyecto CICyT – UNSE 2006 – 2008.

- Pan, E.; López, C.; Moreno, G.; Lencina, N.; Palmas L.; Gonzales Castillo, F. 2008. Tensiones de crecimiento de procedencias y progenies de *Eucalyptus camaldulensis* plantados en Santiago del Estero. Revista Quebracho.
- Pan, E.; Pascual Ruiz, A.; Vidal Ruiz, E. 2009. Propiedades tecnológicas de la madera. Primera parte. Argentina. 184 páginas.
- SAGPyA – INTA. 1995. Manual para productores e eucaliptos de la Mesopotamia argentina.
- Tinto, J. 1978. Aportes del sector forestal a la construcción de viviendas. Folleto técnico forestal N° 44. Segunda Edición. Argentina. 142 páginas.
- Touza, 2001. Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuados para procesar *Eucalyptus globulus* con tensiones de crecimiento. Revista CIS - Madera 6:8-37
- Valdez, R. 2003. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus nitens*. Memoria de titulación. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 61 páginas.
- Vignote, S.; Molinero, I.; Grand, J.; Diez, M. R. 1996. Estudio de las tensiones de crecimiento de *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relación con las características de la estación y morfológicas del propio árbol. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. España. 5 (1):153-165.

DENSIDADES Y FLEXION ESTATICA DE LAS MADERAS DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden Y *Ruprechtia laxiflora* IMPREGNADAS Y SIN IMPREGNAR, DE LA PROVINCIA DE MISIONES

DENSITY AND STATIC FLEXION OF *Eucalyptus grandis* HILL EX MAIDEN AND *Ruprechtia laxiflora* WOODS IMPREGNATED AND WITHOUT IMPREGNATION OF MISIONES PROVINCE

Suirezs T.¹; Bobadilla E.¹; Weber E.¹; Arenhardt O.¹; Bernio J.¹; Marek M.¹; Morel M.²; Bragañolo A.²

¹Ing. Ftal. Docentes. Investigadores. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Bertoni 124 (3380). Eldorado, Misiones, Argentina. suirezs@facfor.unam.edu.ar

² Alumnas 5^{to} Ing. I.M. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Bertoni 124 (3380). Eldorado, Misiones, Argentina.

Resumen

Las principales propiedades que se tienen en cuenta, para seleccionar una especie de madera para usos estructurales son la densidad, modulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática, esto llevo a definir como objetivo el estudio de las maderas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (eucalyptus) y *Ruprechtia laxiflora* (mamelero, ibirá, guarapitá, viraró blanco) sin impregnar e impregnadas con CA-B. Estas maderas comerciales fueron seleccionadas de las industrias de la zona, se estabilizaron para la elaboración de las probetas de ensayos. La impregnación se realizó con el método de Burnett. Los estudios de las propiedades se efectuaron bajo las normas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) N° 9544 y 9542. Las densidades de las dos especies estudiadas, arrojaron diferencias estadísticamente significativas entre maderas impregnadas y sin impregnar. Los módulos de rotura y elasticidad a la flexión estática para la madera de *eucalypto* mostraron diferencias significativas, no así para el marmelero.

Palabras clave: Modulo de rotura, Modulo de elasticidad, Madera impregnada. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Ruprechtia laxiflora*

Summary

The main properties that are taken into account to select a species of wood for structural uses are: its density, elasticity modulus and static flexion breakage, all this defined as an objective the study of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (eucalyptus) and *Ruprechtia laxiflora* (mamelero, ibirá, guarapitá, viraró blanco) wood, without impregnation and impregnated with CA-B. These commercial woods were selected in industries of the zone, they were stabilized to make samples for the tests. The impregnation was done with the Burnett's method. The properties studies were done using the IRAM Norms N° 9544 and 9542. The densities of the two studied species showed differences statistically significant between impregnated and without impregnation woods. The moduli of breakage and elasticity to the static flexion for eucalyptus wood showed significant differences, but not for the marmelero.

Key words: breakage modulus, elasticity modulus, impregnated wood, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Ruprechtia laxiflora*

Introducción

La madera de eucalyptus posee un buen potencial para ser usada como postes, chapa decorativa, ensambladuras, pisos, postes para el alambrado, puntales en minas y postes de cercas, y para la construcción general. <www.fs.fed.us/global/iitf/Eucalyptusgrandis.pdf>

Las propiedades físicas con 15 % de humedad demuestran un peso específico 560 kg/m³. Madera poco penetrable a impregnación líquida. Las propiedades mecánicas como a la flexión estática reflejan modulo de rotura 789 kg/cm²; módulo de elasticidad 121100 kg/cm²; <ronake.altervista.org/files/Eucaliptus%20grandis.pdf>

Es una especie que presenta duramen de color rosado y la albura color pardo amarillento. Los anillos de crecimiento son poco demarcados, porosidad difusa. Su peso específico aparente es de 0,525 g/cm³. <www.inta.gov.ar/concordia/info/documentos/Forestacion/2003-ucalyptus%20para%20viviendas.pdf>

Suirezs et al. 2010. obtuvieron una absorción de 224,23 l/m³ en la madera de eucaliptos impregnada a presión en autoclave.

La madera de de marmelero es utilizada en carpintería, sillas, tirantería, machimbres, y para mobiliario en general. Madera color amarillenta, textura fina, homogénea; grano derecho; vetado espigado, duramen pardo rosáceo. Con el secado rápido produce rajaduras y grietas, es difícil de aserrar, pero de fácil cepillado y lijado, permite obtener un excelente acabado. Es una madera dura para clavar y atornillar, muy buen agarre. Su peso específico aparente es de 740 kg/m³. El modulo de rotura a la flexión estática 890,00 kg/cm² y el módulo de elasticidad de 112420 kg/cm². (López, et al. 1987)

El preservante CA-B es hidrosoluble compuesto por cobre y un biocida orgánico, conocido como copper azole, está aprobado por la agencia de protección ambiental de USA (EPA) y por la asociación de preservadores de madera de América (AWPA). En cuanto a sus aplicaciones es muy similar al CCA.

En Europa, los productos alternativos al CCA son el Cobre Benzalkonium Chloride, Cobre Boro Tebuconazole, Cobre Cobre-HDO, Cobre Cobre-HDO Boro, Cobre polymeric betain, CCB y CCP. Los preservantes para usos sin contacto con el suelo son el TBTO (óxido de tributil estaño) y TBTN (naftenato de tributil estaño). (Freeman, et al.2003). www.vyh.fi/tila/ilma/paastot/preservation_of_wood.doc.

Se planteó como objetivo principal de este trabajo, estudiar los módulos de rotura y modulo de elasticidad a la flexión estática y los pesos específicos aparentes de las maderas de *Eucalyptus grandis* y *Ruprechtia laxiflora* sin impregnar e impregnada con CA-B.

Materiales y Métodos

Las maderas de eucalyptus y marmelero fueron seleccionadas al azar de las industrias locales. De las que se realizaron las probetas para los ensayos de densidades y flexión estática. Una parte de las probetas de cada especie fue usada como testigo y la otra parte para impregnar.

Impregnación de las maderas

Las maderas se impregnaron por el método Burnett, que consistió en aplicar vacío inicial de -0,50 kg/cm² por 5 minutos, 7 kg/cm² de presión durante 120 minutos y 5 minutos de vacío final.

Propiedades Físicas

Para la determinación de las densidades se utilizaron 20 probetas por especie de maderas impregnadas y 20 probetas por especie de madera sin impregnar utilizadas estas últimas como testigo. Se utilizaron los siguientes elementos de trabajo: balanza electrónica con precisión de 0,2 gramos, estufas de secado con termostato para regular temperaturas de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, calibre con precisión de medidas de 0,02 mm, desecadores.

Las densidades o pesos específicos aparentes: estacionado, anhidro, básico y saturado de las maderas se determinaron como se establece en la Norma IRAM N° 9544. Utilizándose las siguientes ecuaciones, $\text{PEE} = \text{Pe}/\text{Ve}$; $\text{PEA} = \text{Po}/\text{Vo}$; $\text{PEB} = \text{Po}/\text{Vs}$; $\text{PES} = \text{Ps}/\text{Vs}$

Siendo: PEE = Peso específico aparente estacionado, en g/cm^3 . Pe = Peso de la muestra estacionada, en g. Ve = Volumen de la muestra estacionada, en cm^3 . PEA = Peso específico aparente anhidro, en g/cm^3 . Po = Peso de la muestra anhidra, en g. Vo = Volumen de la muestra anhidra, en cm^3 . PEB = Peso específico básico, en g/cm^3 . Vs = Volumen de la muestra saturada, en cm^3 . PES = Peso específico saturado, g/cm^3 . Ps = Peso de la muestra saturada, g.

Propiedades mecánicas

Para estudiar flexión estática se utilizaron 20 probetas por especie de maderas impregnadas y 20 probetas por especie de madera sin impregnar como testigo, las mismas fueron ensayadas en una máquina universal de ensayos. Los módulos de rotura y módulos de elasticidad de las maderas se calcularon como lo especifica la Norma IRAM N° 9542. Con probetas de 2 cm de base x 2 cm de altura y 34 cm de largo. Se usaron las siguientes ecuaciones. $\text{MOR} = 3\text{PL}/2\text{bh}^2$ $\text{MOE} = \text{P}'\text{L}^3/4\text{bh}^3\text{f}$

Siendo: MOR = módulo de rotura, en kg/cm^2 . P = Carga de rotura, en kg. b = Base, en cm. L = Longitud entre apoyos, en cm. h = Altura, en cm. MOE = Módulo de elasticidad, en kg/cm^2

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg. f = Deformación en el límite proporcional elástico, en cm.

Los datos fueron analizados a través del análisis de la variancia empleando el Test de Tukey, el Software empleado fue el Infostat.

Resultados *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

En la tabla 1 se encuentran los valores promedios de las densidades estacionadas, anhidra, básica y saturada estudiadas de la madera de *Eucalyptus grandis*, sin impregnar e impregnada con CA-B

Tabla 1: Valores promedios de las densidades de eucalyptus en madera impregnada con CA-B y sin impregnar

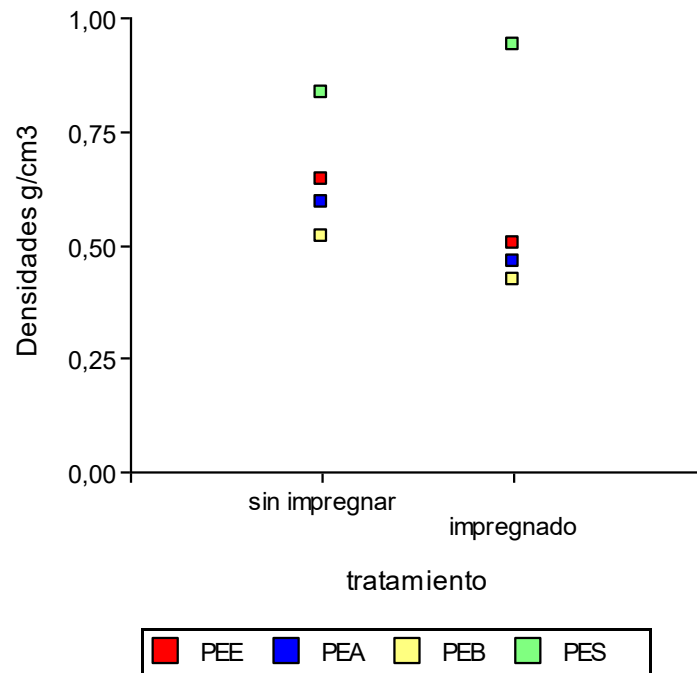
Table 1: Densities mean values of eucalyptus wood impregnated with CA-B and without impregnation

Tratamiento	Densidades	n	Media g/cm^3	D.S	C.V. %	Mín	Máx
impregnado	PEA	20	0,46 A	0,048	10,41	0,395	0,579
sin impregnar	PEA	20	0,59 B	0,071	12,02	0,48	0,716
impregnado	PEB	20	0,42 A	0,036	8,55	0,381	0,5
sin impregnar	PEB	20	0,52 B	0,058	11,07	0,427	0,628
Impregnado	PES	20	0,94 A	0,058	6,19	0,857	1,105
sin impregnar	PES	20	0,83 B	0,079	9,41	0,703	1,021
Impregnado	PEE	20	0,50 A	0,053	10,55	0,442	0,625
sin impregnar	PEE	20	0,64 B	0,081	12,61	0,517	0,8

PEA: densidad anhidra; PEB: Densidad básica; PES: densidad saturada; PEE: densidad estacionada; D.S.: Desviación estandar; C.V: Coeficiente de Variación; Min: Mínimo; Max: Máximo.
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En la tabla 1 se puede observar que para todas las densidades hay diferencia significativas cuando se comparan las maderas impregnadas y sin impregnar.

En el gráfico 1 se muestra la comparación de medias de las distintas densidades de la madera de *Eucalyptus grandis* impregnada con CA-B y sin impregnar.



PEA: densidad anhidra; PEB: Densidad básica; PES: densidad saturada; PEE: densidad estacionada

Gráfico 1: Comparación de medias de las distintas densidades de maderas de eucalyptus sin impregnar e impregnadas. Se gráfico solo la media para que no se superpongan los desvíos.

Graph 1: Comparison of mean of different densities of eucalyptus wood without impregnation and impregnated. Only the media was graphed so the deviation would not be superposed.

En la tabla 2 se detallan los valores promedios obtenidos para el módulo de elasticidad y módulo de rotura a la flexión estática de la madera de eucaliptos impregnada con CA-B y sin impregnar.

En la tabla 2 los valores tanto de modulo de elasticidad como de el modulo de rotura en la madera impregnada dan diferencias estadísticamente significativas e inferiores a la madera sin impregnar.

Tabla 2: Valores promedios de módulos de elasticidad y de rotura a la flexión estática de la madera de eucalyptus impregnada con CA-B y sin impregnar

Table 2: Mean values of elasticity and breakage to static flexion moduli of eucalyptus wood impregnated with CA-B and without impregnation.

Tratamiento	Módulo	n	Media Kg/cm ²	D.S.	CV %	Mín	Máx
impregnado	MOR	20	559,51 A	111,28	19,89	451	856
sin impregnar	MOR	20	890,16 B	104,95	10,42	703,1	1125
impregnado	MOE	20	82661,45 A	8609,34	11,79	69166	100902
sin impregnar	MOE	20	138197,85 B	23703,92	17,15	105468,8	188733,6

MOR: Módulo de rotura; MOE: Módulo de elasticidad

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En los gráficos 2 y 3 se pueden observar las comparaciones de medias del modulo de rotura (gráfico 2) y modulo de elasticidad (gráfico3).

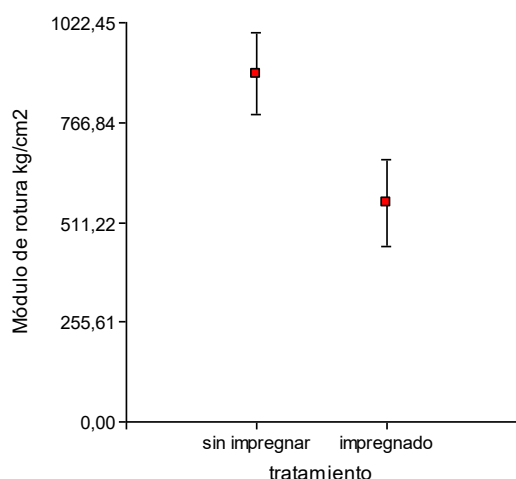


Grafico 2: Comparación de medias del módulo de rotura de maderas de eucaliptos sin impregnar e impregnadas

Graph 2: Comparison of mean of breakage modulus of eucalyptus wood without impregnation and impregnated.

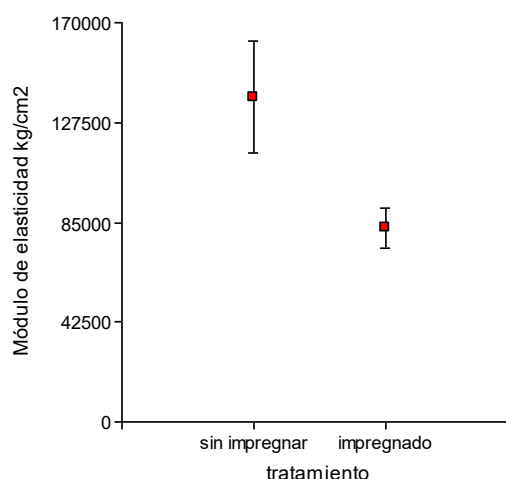


Grafico 3: Comparación de medias del módulo de elasticidad de maderas de eucaliptos sin impregnar e impregnadas.

Graph 3: Comparison of mean of elasticity modulus of eucalyptus wood without impregnation and impregnated.

***Ruprechtia laxiflora* (marmelero)**

En la tabla 3 se encuentran los valores promedios de las densidades estacionadas, anhidra, básica y saturada estudiadas de la madera de *Ruprechtia laxiflora*, sin impregnar e impregnada con CA-B.

Tabla 3: Valores promedios de las densidades de la madera impregnada con CA-B y sin impregnar de marmelero

Table 3: Densities mean values of marmelero wood impregnated with CA-B and without impregnation.

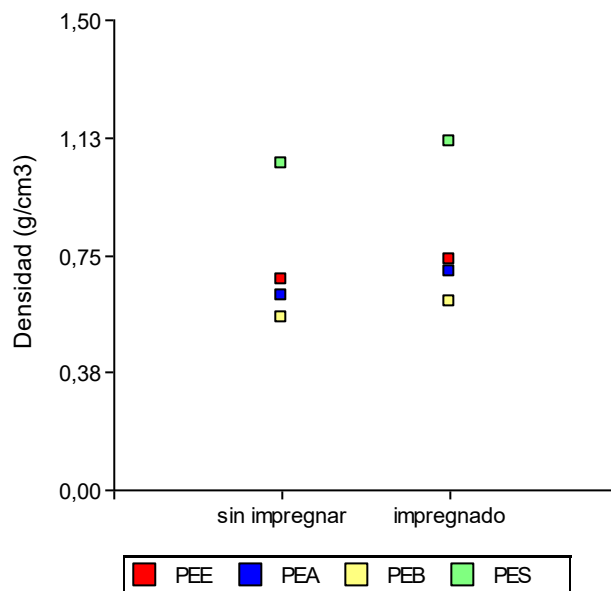
Tratamiento	Densidades	n	Media g/cm ³		D.S	C.V. %	Mín	Máx
impregnado	PEE	20	0,73	A	0,03	3,6	0,69	0,78
sin impregnar	PEE	20	0,67	B	0,06	8,36	0,56	0,79
impregnado	PEA	20	0,69	A	0,03	4,21	0,62	0,75
sin impregnar	PEA	20	0,62	B	0,06	9,07	0,53	0,74
impregnado	PEB	20	0,60	A	0,02	3,23	0,56	0,64
sin impregnar	PEB	20	0,55	B	0,04	6,81	0,5	0,64
impregnado	PES	20	1,11	A	0,03	2,88	1,02	1,15
sin impregnar	PES	20	1,04	B	0,04	3,49	0,97	1,12

PEA: densidad anhidra; PEB: Densidad básica; PES: densidad saturada; PEE: densidad estacionada; D.S.: Desviación estandar; C.V: Coeficiente de Variación; Min: Mínimo; Max: Máximo.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En la tabla 3 se puede observar que para todas las densidades hay diferencia significativas cuando se comparan las maderas impregnadas y sin impregnar.

En el gráfico 4 se presentan las comparaciones de medias de las densidades de marmelero sin impregnar e impregnado con CA-B.



PEA: densidad anhidra; PEB: Densidad básica; PES: densidad saturada; PEE: densidad estacionada

Grafico 4: Comparación de medias de las distintas densidades de maderas de marmelero sin impregnar e impregnadas. Se gráfico solo la media para que no se superpongan los desvíos.

Graph 4: Comparison of mean of different densities of marmelero wood without impregnation and impregnated. Only the media was graphed so the deviation would not be superposed.

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos para los módulos de elasticidad y módulo de rotura a la flexión estática de la madera del marmelero sin impregnar e impregnada con CA-B.

Tabla 4: Valores promedios de módulos de elasticidad y módulo de rotura de la madera impregnada y sin impregnar de marmelero

Table 4: Mean values of elasticity and breakage to static flexion moduli of marmelero wood impregnated with CA-B and without impregnation

Tratamiento	Módulos	n	Media kg/cm ²	D.V.	C.V. %	Mín	Máx
impregnado	MOR	20	810,30 A	209,13	25,81	368	1147
sin impregnar	MOR	20	739,04 A	201,03	27,2	414	1033
impregnado	MOE	20	100757,3 B	20147,64	20	44621,8	126912
sin impregnar	MOE	20	95891,91 B	36602,17	38,17	52259,6	211109

MOR: Módulo de rotura; MOE: Módulo de elasticidad; Desviación estandar; C.V: Coeficiente de Variación; Min: Mínimo; Max: Máximo.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Como se puede observar en la tabla 4 los valores de MOR y MOE a la flexión estática del marmelero no dieron diferencias significativas para las distintas maderas impregnadas y sin impregnar.

En los gráficos 5 y 6 se presentan las comparaciones de medias de los módulos de rotura (gráfico 5) y del modulo de elasticidad (gráfico 6).

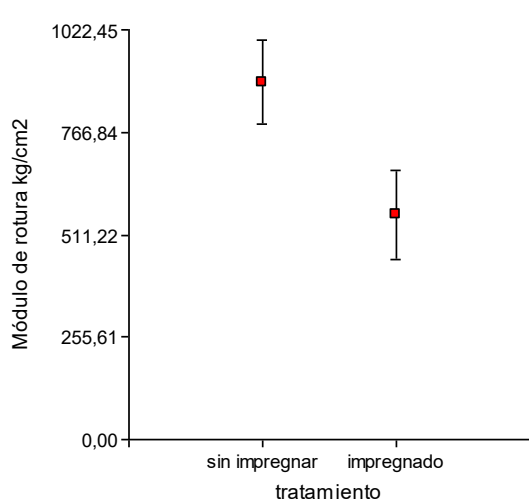


Grafico 5: Comparación de medias del módulo de rotura de maderas de marmelero sin impregnar e impregnadas.

Graph 5: Comparison of mean of breakage modulus of marmelero wood without impregnation and impregnated.

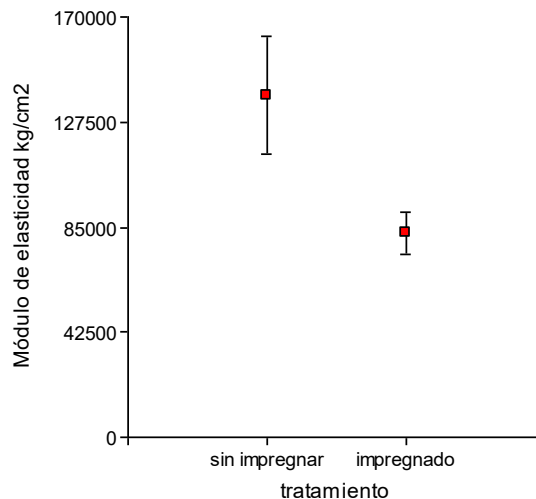


Grafico 6: Comparación de medias del módulo de elasticidad de maderas de marmelero sin impregnar e impregnadas.

Graph 6: Comparison of mean of elasticity modulus of marmelero wood without impregnation and impregnated

Conclusiones

Las maderas de *Eucalyptus grandis* impregnadas han resultado con valores de densidades estadísticamente significativas comparadas con las no impregnadas.

Los módulos de elasticidad y de rotura a la flexión estática de la madera de *Eucalyptus grandis* impregnada dieron diferencias significativas con respecto a las maderas sin impregnar. El módulo de elasticidad se redujo en un 37% y el módulo de rotura en un 40% en las maderas impregnadas.

La madera de *Ruprechtia laxiflora* respondió al tratamiento de impregnación en forma similar al eucalipto en relación a las densidades, dando diferencias significativas entre la madera impregnada y sin impregnar.

Estadísticamente no dieron diferencias significativas los módulos de elasticidad y de rotura a la flexión estática en la madera impregnada y sin impregnar del marmelero. Disminuyendo el módulo de elasticidad un 5% y el de rotura un 9 % en las maderas impregnadas.

Bibliografía

- <http://www.wolmanizedwood.com/Products/Preservative/default.htm>>; Productos preservantes, [enero 2010]
http://www.vyh.fi/tila/ilma/paastot/preservation_of_wood.doc >
<http://www.osmosse.co.nz/>; [kopperarch.co.nz](http://www.kopperarch.co.nz/) >
<http://www.wolmanizedwood.com>>
<http://ronake.altervista.org/files/Eucalyptus%20grandis.pdf>>
<http://www.inta.gov.ar/concordia/info/documentos/Forestacion/2003Eucalyptus%20para%20viviendas.pdf>>
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM 9542. Método de ensayo de flexión de la densidad aparente. (1973).
Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM 9544. Método de la determinación de la densidad aparente. (1973).
Lepage, E.S. "Manual de Preservacao de madeiras". Volumen II. Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de Sao Paulo. Pg. 363. (1986).
López, J.A.; Little, E.; Ritz, G.; Rombold, J.; Hahn, W. 1987. Árboles comunes del Paraguay: ñande yvyra mata kuera. Paraguay, Cuerpo de Paz, 425 pp.
Suirezs Teresa M.; Weber Elizabeth M.; Bobadilla Elisa A.; Pereyra Obdulio; Vera Laura; Magnago Sandra. 2010. Absorción en maderas impregnadas por los métodos sin presión y a presión. 2do Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera. Mar del Plata.

DENSIDAD Y CONTRACCION TOTAL AXIAL, RADIAL Y TANGENCIAL DE LAS MADERAS DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze y *Bastardiopsis densiflora* (Hook. et Arn.) Hassl SIN IMPREGNAR E IMPREGNADA DE LA PROVINCIA DE MISIONES

DENSITY AND TOTAL AXIAL, RADIAL AND TANGENTIAL SHRINKAGE OF *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* (BERT.) O. KUNTZE Y *BASTARDIOPSIS DENSIFLORA* WOODS IMPREGNATED AND WITHOUT IMPREGNATION OF MISIONES PROVINCE

Weber E.¹; Suirezs T.¹; Bobadilla E.¹; Pereyra O.¹; Wanderer R.¹; Magnago S.¹; Vera L.²; Bragañolo A.²

¹Ing. Ftal. Docentes. Investigadores. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Bertoni 124 (3380). Eldorado, Misiones, Argentina. eweber@facfor.unam.edu.ar

² Alumnas 5^{to} Ing. I.M. Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Bertoni 124 (3380). Eldorado, Misiones, Argentina.

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar el comportamiento a la estabilidad de las maderas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (pino paraná) y *Bastardiopsis densiflora* (Hook. et Arn.) Hassl, (loro blanco), sin impregnar e impregnadas con CA-B (wolman E o Copper Azole) por el método de Burnett. Las determinaciones de las densidades y contracciones se realizaron según lo indicado en las normas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) N° 9544 y 9543 respectivamente. Las densidades de ambas especies presentaron diferencias significativas entre madera impregnada y sin impregnar. En cuanto a las contracciones totales, la madera de araucaria presenta diferencia significativa en las direcciones axial y tangencial, y la madera de loro blanco arrojo diferencias significativas en las direcciones radial y tangencial. Pudiendo concluir que la madera impregnada puede considerarse más estable que la madera sin impregnar.

Palabras clave: Estabilidad dimensional, Madera impregnada, Peso específico aparente, *Araucaria angustifolia*, *Bastardiopsis densiflora*

Summary

This work had as an objective to study the behaviour and the stability of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (pino paraná) y *Bastardiopsis densiflora* (Hook. et Arn.) Hassl, (loro blanco) wood, without impregnation and impregnated with CA-B (wolman E or Copper Azole) by the Burnett's method. The determination of densities and shrinkages were done as indicated in the IRAM Norms N° 9544 and 9543 respectively. The densities of both species showed significant differences between impregnated and without impregnation woods. With respect to the total shrinkage, araucaria wood showed a significant difference in the axial and tangential directions, and loro blanco wood showed significant differences in the radial and tangential directions. We could conclude that the impregnated wood could be considered more stable than wood without impregnation.

Key words. Dimensional stability, impregnated wood, specific apparent weigh, *Araucaria angustifolia*. *Bastardiopsis densiflora*

Introducción

La madera de *Araucaria angustifolia* (pino paraná) es blanda y liviana de color blanco-amarillenta, toma un color más oscuro a través del tiempo. Presenta una densidad de $0,500 \text{ g/cm}^3$ (Dimitri, 1977). Se utiliza en carpintería, construcciones civiles, tableros compensados. En Misiones se realizan plantaciones con fines comerciales. (Biloni, 1990).

Gonzalez *et al.* (1994), al estudiar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de pino paraná reforestado en Misiones, obtuvieron los siguientes como resultados, peso específico aparente $0,51 \text{ g/cm}^3$ y contracción total en la dirección tangencial y radial 7,0 y 3,8 % respectivamente. Según Tinto (1978), es una madera muy penetrable. Suirezs *et al.* (2010) evaluando dos métodos de impregnación y obtuvieron por el método a presión $398,23 \text{ l/m}^3$ de absorción en la madera de *A. angustifolia*.

La madera de *Bastardiopsis densiflora* (Hook. et Arn.) Hassl (loro blanco) tiene textura fina y homogénea con grano derecho a levemente oblicuo. Los vasos se disponen en porosidad difusa, solitaria y múltiple radiales cortos, de 2 a 3 poros. Los anillos de crecimiento están poco demarcados, (Tortorelli, 1956). González *et al.* (2003) al estudiar las propiedades del loro blanco determinaron que el peso específico aparente estacionado fue de 670 kg/m^3 , la contracción total tangencial 8,18 %; radial 5,131 %; axial 0,45 %, siendo el coeficiente de contracción tangencial y radial 0,29 y 0,19 respectivamente. Según Suirezs *et al.* (2009) la absorción de la madera del loro blanco impregnada a presión, es de $382,64 \text{ l/m}^3$.

El CA-B wolman E o Copper Azole es un preservante hidrosoluble compuesto por cobre y un biocida orgánico, también se lo conoce con el nombre de copper azole, está aprobado por la agencia de protección ambiental de USA (EPA) y por la asociación de preservadores de madera de América (AWPA). En general, salvo alguna excepción, tiene las mismas aplicaciones que las maderas tratadas con CCA.

< <http://www.petersonwoodtreating.com/product.html> >

En EE.UU. existen tres preservantes alternativos al CCA que se están comercializando como productos libres de arsénico. Ellos son el ACQ (Alcalino Cobre Cuaternario), CBA (Cobre, Boro, Azol) y el Cobre bis-(N-cyclohexyldiazoniumdioxy) (Cu-HDO o copper xyligen), estos productos permiten usar la maderas en contacto con el suelo. Además se utilizan preservantes específicos para maderas que no están en contacto con el suelo como puertas y ventanas, entre los preservantes utilizados se encuentran, el fungicida IPBC (3-yodo-2-propynl butyl carbamate), formulado con agua o con solventes orgánicos. El TBTO (Bis tri-n-butyltin) es un compuesto órgano estañoso, soluble en solventes orgánicos e insoluble en agua. El CPF (chlorpyrifos) es un insecticida, muy utilizado en la agricultura que posee una efectiva acción contra ataque de insectos, soluble en agua y solvente orgánico <http://www.infor.cl/webinfor>.

En 1838 Burnett patentó el proceso para impregnar maderas a presión, (Celula llena) en autoclave con preservantes hidrosolubles, aplicando las siguientes fases: carga de madera en el autoclave, vacío inicial, mantenimiento del vacío, admisión del preservante, aplicación de presión, mantenimiento de presión, liberación de presión y drenaje de preservante, vacío final, mantenimiento del vacío, equilibrio de presión, descarga de la madera. (Lepage, 1986).

Como principal objetivo del presente trabajo fue estudiar y comparar densidades y contracciones en las tres direcciones de las maderas no impregnadas e impregnadas con CA-B a presión.

Materiales y métodos

Las maderas de *Araucaria angustifolia* y *Bastardiopsis densiflora* se seleccionaron al azar de las industrias locales. Fueron estacionadas en el laboratorio de tecnología de la madera. Luego se realizaron las probetas para los ensayos de contracción e hinchamiento, una parte de las probetas de cada especie fue usada como testigo y la otra parte para impregnar.

Las maderas fueron impregnadas por el método Burnett, que consistió en aplicar vacío inicial de $-0,50 \text{ kg/cm}^2$ por 5 minutos, 7 kg/cm^2 de presión durante 120 minutos y 5 minutos de vacío final. Se impregnaron 20 probetas de madera por especie. Como testigo también se utilizaron 20 probetas de madera sin impregnar.

Los ensayos para determinar las contracciones y densidades se realizaron como se establecen en las Normas IRAM N° 9543 y 9544. Los instrumentos usados fueron: balanza electrónica, con precisión de 0,2 gramos, estufas de secado con termostato para regular temperaturas de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, calibre con precisión de medidas de 0,02 mm, desecadores. Las contracciones totales de las maderas en las direcciones, tangencial, radial y axial y la densidad, fueron calculadas con las ecuaciones presentadas en las citadas Normas.

$CT = ((L_s - L_o) / L_s)100$; Siendo: CT = Contracción total, %. L_s = Longitud saturada, cm. L_o = Longitud anhidra, cm.

$PEE = P_e / V_e$; Siendo: PEE = Peso específico aparente estacionado, en g/cm^3 . P_e = Peso de la muestra estacionada, en gr. V_e = Volumen de la muestra estacionada, en cm^3

El análisis de los datos, se realizó a través del paquete estadístico infostat, obteniéndose los valores promedios y realizando el análisis de tukey para la comparación de medias.

Resultados y Discusión

Araucaria angustifolia (Bert.) Kuntze

En la tabla 1 se presentan los valores promedios en porcentaje de las contracciones totales en las direcciones axial, radial y tangencial de la madera impregnada con CA-B y sin impregnar de *Araucaria angustifolia*

Tabla 1: Contracción total axial, radial y tangencial de la madera de pino paraná impregnada con CA-B y sin impregnar.

Table 1: Total axial, radial and tangential shrinkage of Parana pine wood impregnated with CA-B and without impregnation

Tratamiento	Variable	n	Media %	Desvío Estándar	Coefficiente variación %	Mín	Máx
impregnado	Axial	20	0,67	A 0,15	22,85	0,29	0,92
sin impregnar	Axial	20	0,49	B 0,08	15,64	0,33	0,63
impregnado	Radial	20	3,62	A 0,54	14,91	2,70	4,80
sin impregnar	Radial	20	3,75	A 0,53	14,26	2,88	4,49
impregnado	Tangencial	20	6,00	A 0,90	14,93	4,54	7,87
sin impregnar	Tangencial	20	6,83	B 0,59	8,59	5,98	8,16

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Los valores de contracción radial no presentan diferencias significativas mientras que las contracciones en las direcciones axial y tangencial si hay diferencias significativas.

Los valores de las maderas sin impregnar son similares, con los valores hallados por González *et al* (1994).

En el gráfico 1 se pueden observar la comparación de medias de las contracciones en las tres direcciones estudiadas de la madera de pino paraná sin impregnar e impregnada.

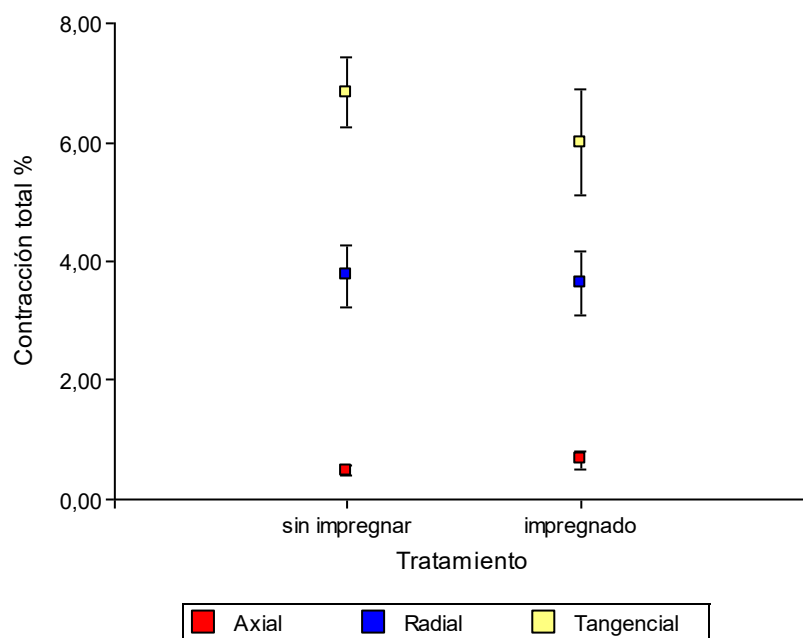


Gráfico 1: Comparación de medias de las contracciones totales en las direcciones axial, radial y tangencial de la madera de *Araucaria angustifolia* sin impregnar e impregnada con CA-B.

Graph1: Comparison of total contraction mean in the axial, radial and tangential directions of *Araucaria angustifolia* wood without impregnation and impregnated with CA-B:

En la tabla 2 se reflejan los resultados obtenidos de la densidad estacionada de la madera de araucaria sin impregnar e impregnada con CA-B.

Tabla 2. Densidad estacionada de la madera de *Araucaria angustifolia* impregnada con CA-B y sin impregnar.

Table2: Stationary density of *Araucaria angustifolia* wood impregnated with CA-B and without impregnation.

Tratamiento	Variable	n	Media g/cm ³	Desvío Estándar	Coefficiente variación %	Mín	Máx
impregnado	PEE	20	0,51	A 0,02	3,07	0,50	0,55
sin impregnar	PEE	20	0,56	B 0,03	4,88	0,51	0,60

PEE: densidad estacionada

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Podemos observar que la densidad ha disminuido significativamente con la impregnación. Si comparamos con González *et al* (1994). se demuestra que este valor de la madera sin impregnar es mayor.

En el gráfico 2 se presentan la comparación de medias de la densidad de la madera del pino paraná sin impregnar e impregnada con CA-B.

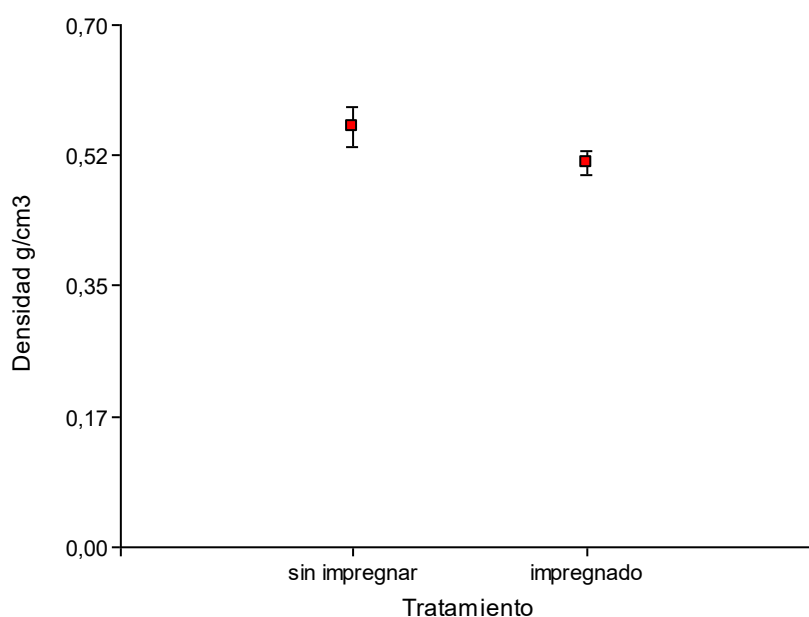


Gráfico 2. Comparación de medias de densidad estacionada de la madera de *Araucaria angustifolia* impregnada con CA-B y sin impregnar.

Graph 2: Comparison of density mean of *Araucaria angustifolia* wood impregnated with CA-B and without impregnation.

***Bastardiopsis densiflora* (Hook. et Arn.) Hassl (loro blanco)**

En la tabla 3 se encuentran los valores promedios de las contracciones totales en las tres direcciones estudiada de la madera de *Bastardiopsis densiflora* (loro blanco) sin impregnar e impregnada con CA-B.

Tabla 3: Contracción total axial, radial y tangencial de la madera de *Bastardiopsis densiflora* impregnada con CA-B y sin impregnar.

Table 3: Total axial, radial and tangential shrinkage of *Bastardiopsis densiflora* wood impregnated with CA-B and without impregnation

Tratamiento	Contracción	n	Media %	Desvío Estandar	Coefficiente variación %	Mín	Máx
impregnado	Axial	20	0,66	A 0,11	16,25	0,50	0,84
sin impregnar	Axial	20	0,71	A 0,13	17,97	0,48	0,97
impregnado	Radial	20	4,13	A 1,02	24,63	3,12	7,20
sin impregnar	Radial	20	5,29	B 0,73	13,86	4,04	6,65
impregnado	Tangencial	20	7,02	A 1,02	14,56	4,30	8,97
sin impregnar	Tangencial	20	8,20	B 0,97	11,89	6,49	9,86

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Los valores de contracción axial no presentan diferencias significativas mientras que las contracciones en las direcciones radial y tangencial si hay diferencias significativas.

Si comparamos estos valores de la madera sin impregnar con González *et al* (1994) los mismos son similares.

En el gráfico 3 se puede observar la comparación de medias de las contracciones en las tres direcciones estudiadas de la madera de loro blanco sin impregnar e impregnada con CA-B.

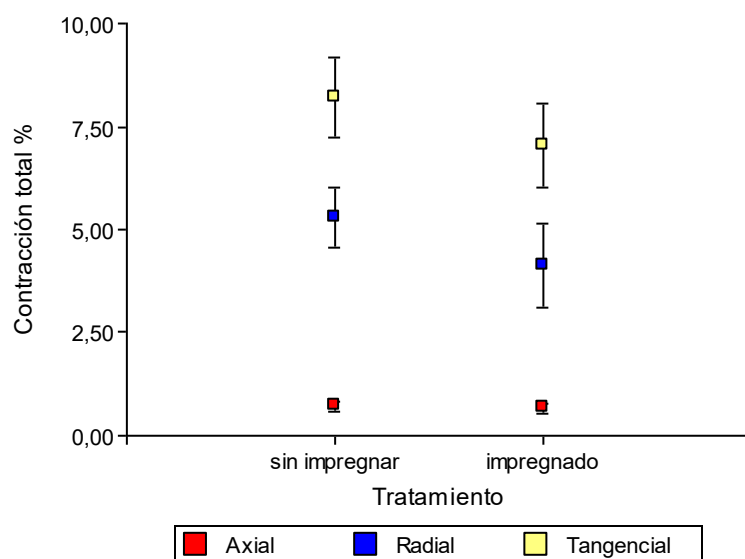


Gráfico 3. Comparación de medias de contracción total axial, radial y tangencial de la madera de *Bastardiopsis densiflora* sin impregnar e impregnada con CA-B.

Graph 3: Graph 3: Comparison of total shrinkage mean of *Araucaria angustifolia* wood impregnated with CA-B and without impregnation

En la tabla 4 se observan los resultados obtenidos de la densidad estacionada de la madera de loro blanco sin impregnar e impregnada con CA-B.

Tabla 4. Densidad estacionada de la madera de *Bastardiopsis densiflora* impregnada con CA-B y sin impregnar.

Table 4: Stationary density of *Bastardiopsis densiflora* wood impregnated with CA-B and without impregnation.

Tratamiento	Variable	n	Media g/cm ³	Desvío Estándar	Coefficiente variación %	Mín	Máx
impregnado	PEE	20	0,65	A 0,02	2,83	0,61	0,69
sin impregnar	PEE	20	0,68	B 0,06	8,32	0,61	0,79

PEE: densidad estacionada

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Como se puede observar en la tabla 4, la densidad ha disminuido significativamente con la impregnación. Comparando con González *et al.* (1994) los valores de la madera sin impregnar son similares.

En el gráfico 4 se encuentran la comparación de medias de la densidad estacionada de la madera de *Bastardiopsis densiflora* sin impregnar e impregnada con CA-B.

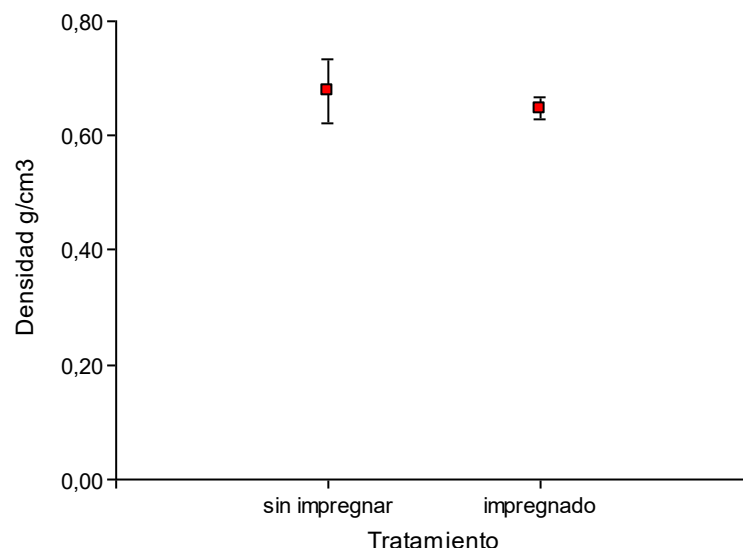


Grafico 4. Comparación de medias de densidad estacionada de la madera de *Bastardiopsis densiflora* sin impregnar e impregnada con CA-B.

Graph 4: Comparison of density mean of *Bastardiopsis densiflora* wood without impregnation and impregnated with CA-B.

Conclusiones

De los resultados obtenidos se determino que las propiedades físicas estudiadas de la madera de pino paraná y loro blanco sin impregnar e impregnada con CA-B., en el caso de las maderas impregnadas han mejorado su estabilidad dimensional, disminuyendo significativamente la contracción total en la dirección axial y tangencial para la madera de pino paraná y en la dirección radial y tangencial para la madera de loro blanco. En cuanto a las densidades para ambas especies y ambos tratamientos presentaron valores estadísticamente significativos.

Bibliografía

- Biloni, José Santos. 1990. Árboles autóctonos Argentinos de la selva, bosques y montes de la Argentina. Editora Argentina. Buenos Aires. Argentina.
- Dimitri Jorge. 1977. Libro del Árbol, Tomo I, Esencias forestales indígenas de la Argentina de aplicación ornamental. Celulosa Argentina S.A.
- González Raúl A.; Pereyra Obdulio; Suirezs Teresa M.; Eskibiski Edgard. 2003. Estudio de las propiedades tecnológicas de las maderas de cinco especies forestales de interés industrial de Misiones, Argentina. Yvyrareta N° 11.
- González, Raúl A.; Suirezs, Teresa M. 1994. Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de pino paraná (*Araucaria angustifolia*) reforestado en la provincia de Misiones, Argentina. Yvyrareta N° 5.
<http://www.infor.cl/webinfor>. [enero 2010]
- <http://www.wolmanizedwood.com/Products/Preservative/default.htm>; Productos preservantes, [enero 2010]
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM 9543. Método de determinación de las contracciones totales; axiales, radiales y tangenciales y el punto de saturación de las fibras. (1966).
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM 9544. Método de la determinación de la densidad aparente. (1973).
- Lepage, E.S. "Manual de Preservacao de madeiras". Volumen II. Instituto de pesquisas
- Suirezs Teresa M.; Weber Elizabeth M.; Bobadilla Elisa A.; Pereyra Obdulio; Vera Laura; Magnago Sandra. 2010. Absorción en maderas impregnadas por los métodos sin presión y a presión. 2do Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera. Mar del Plata.
- Suirezs, T. M.; Magnago S.; Pereyra, O.; Bobadilla, E. A.; Weber E.; Bernio, J. C.; Wanderer R. 2009. Absorción de agua en maderas con porosidad difusa, circular y no porosa impregnadas por los métodos sin presión y a presión. Revista Yvyrareta N° 16. ISSN 0328-8854.
- tecnológicas do Estado de Sao Paulo. Pg. 363. (1986).

Tinto, José. 1978. Aporte del Sector Forestal a la Construcción de Viviendas. IFONA, Folleto Técnico Forestal N° 44. Segunda edición.

Tortorelli Lucas. 1956. Maderas y bosques argentinos. Editorial ACME. Bs. As.

ANGULO MICROFIBRILAR Y DENSIDAD BÁSICA DE *Pinus taeda* L^{*}

MICROFIBRIL ANGLE AND BASIC DENSITY OF *Pinus taeda* L^{*}

Winck, R. A.^{1,2}, Fassola, H. E.¹, Tomazello, M.F.³, Area, M. C.^{4,5}

(1) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Av. Libertador 2472 (3384). Montecarlo, Misiones, Argentina. E mail: awinck@montecarlo.inta.gov.ar

(2) Maestría en Ciencias de Madera, Celulosa y Papel, UNaM, Argentina.

(3) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias N°11. 13418-900. Piracicaba, SP, Brasil.

(4) Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, Félix de Azara 1552 (3300) Posadas, Misiones, Argentina.

(5) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

*La determinación de Angulo Microfibrilar fue financiado por el proyecto CAFP-BA 012/08, bajo el convenio existente entre la FCEQyN-UNaM y ESALQ-SP. Realizado en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Escuela Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

Resumen

La orientación de las fibrillas en la capa S2 de la pared secundaria de las traqueidas es la que determina en gran medida las propiedades de la madera, sobre todo su resistencia y contracción. La orientación de las puntuaciones y de los campos de cruzamiento en la pared de las traqueidas indica a menudo la alineación de las microfibrilas y ha sido empleado por varios autores para medir el ángulo microfibrilar (AMF). Mediante esta técnica se evaluó el AMF en madera de *Pinus taeda* de 15 años de edad proveniente de un rodal con manejo silvopastoril. El AMF decrece y la densidad básica aumenta de la médula a la corteza. La correlación entre AMF y densidad en este estudio es baja ($R = -0,59$), lo que indicaría que la densidad no sería un parámetro suficiente para inferir sobre la calidad estructural de la madera.

Palabras Clave: microfibrilas; sistema silvopastoriles; puntuaciones de las traqueidas.

Summary

The orientation of the fibrils in the S2 layer of the secondary wall of the tracheids largely determines the properties of wood, particularly its stiffness and shrinkage. The orientation of bordered and cross-field pit apertures of the tracheids walls is known to often follow the orientation of microfibrils, and has been used by several authors to measure microfibril angle (MFA). Using this technique, we evaluated the AMF of 15 years old *Pinus taeda* wood from a stand with silvopastoral management. The MFA decreased and wood basic density from the pith to the bark. The correlation between MFA and density in this study was low ($R = -0,59$), indicating that the density would not be a parameter sufficient to infer about the structural quality of the wood.

Key words: microfibrill; silvopastoral systems; pit apertures of the tracheids

Introducción

La región NE de la Argentina se caracteriza por cultivar especies forestales de rápido crecimiento con la finalidad de atender a los diferentes mercados de madera. En este sentido, los sistemas silvopastoriles han ido aumentando su participación, entre otras cosas, para

obtener madera libre de nudos. La materia prima resultante de estas plantaciones presentarían un alto porcentaje de leño juvenil y gran ángulo microfibrilar (AMF). Maderas con estas características influyen negativamente en el proceso de la transformación, sus propiedades tecnológicas también son afectadas, trayendo como consecuencia problemas en la calidad de las fibras, en la resistencia mecánica y en la durabilidad natural de las piezas que emplean a ese tipo de materia prima (Brown y Mc Williams, 1990). Las características mecánicas y físicas de la madera son determinantes para la producción de madera sólida, mientras que las anatómicas están relacionadas a todos los procesos tecnológicos de la madera.

La pared secundaria consta de 3 capas, la S1, S2 y S3. La celulosa está dispuesta en la pared celular formando microfibrilas que proveen el soporte estructural de la misma. Las microfibrilas se encuentran alineadas en hélice y el ángulo que ésta forma con el eje de la pared celular es llamado ángulo microfibrilar (Treacy et al., 2000). La orientación de las puntuaciones y de los campos de cruzamiento en la pared de las traqueidas indica a menudo la alineación de las microfibrilas y ha sido empleado por varios autores para determinar el AMF. La orientación de las fibrilas en la capa S2 de la pared secundaria de las traqueidas es la que determina en gran medida las propiedades de la madera (Walker y Butterfield, 1995), sobre todo su resistencia y contracción tangencial y longitudinal (Donaldson, 1996), constituye un factor crítico en las propiedades mecánicas de la madera (Senft y Bendtsen, 1985; Megraw, 1985). Así también Meylan y Probine (1969), Donaldson (1996), concluyeron que el AMF en combinación con la densidad, constituyen los principales indicadores de la calidad maderera, marcando una fuerte relación con el módulo de elasticidad y la contracción longitudinal, estas constituyen las principales razones de interés en estudiar esta propiedad de la pared celular en las coníferas. Además de ejercer un importante impacto en las propiedades del papel. Otra razón por la que se justifica estudiar el AMF radica en que, esta característica, contribuye a la selección de árboles con madera de mayor resistencia (Cave, 1968, Walker y Butterfield, 1995). Existe mayor variación en el ángulo microfibrilar en madera juvenil que en madera madura, por lo tanto la selección sería más beneficiosa (Walker y Butterfield, 1995). Este método de selección superaría a la selección por densidad para obtener mayor calidad de productos (Donaldson, 1992; Walker y Butterfield, 1995; Donaldson, 1996).

Materiales y Métodos

La especie empleada en el estudio fue *Pinus taeda* de 15 años de edad, proveniente de un rodal con manejo silvopastoril, ubicado a los 26°58.81' y 55°13.44', perteneciente a la empresa Tabay S.A. Los suelos son de tipo Kandiuultes. El clima del área según la clasificación de Köppen es de tipo Cfa, macrotérmico, constantemente húmedo y subtropical (Rodríguez et al., 2004). La precipitación media durante el período 1981-1990, fue de 1947 mm en Posadas, ciudad localizada al sur del área considerada. La temperatura media anual fue en el mismo período de 21,5 ° C (Servicio Meteorológico Nacional, 2008).

El rodal fue establecido en el año 1999, con una densidad inicial de plantación de 1666 plantas/hectáreas y la densidad final 150 plantas/hectáreas. Se realiza la implantación de “pasto jesuita gigante” (*Axonopus catarinensis* (sp.nov. inéd) en el año 2000.

El sistema silvopastoril, implicó un régimen de podas y raleos intensivos que implicó alcanzar a los 7 años de edad una altura de poda entre 8-8,5 m de altura, quedando en pie 373 plantas/ha luego de raleos perdidos y uno comercial, con un diámetro a la altura de pecho (DAP) promedio del rodal de 25cm. A partir del año 2007 se estableció un sistema de inventario permanente que permitió evaluar la evolución del recurso y su respuesta al manejo silvícola. Este tipo de manejo permitió lograr un incremento importante DAP promedio del rodal, alcanzando 43,9 cm a los 15 años de edad.

A los 15 años de edad, se talaron 6 árboles en total, 2 de cada estrato según su posición fitosociológica en dominados, codominantes y dominantes (Köhl *et al.*, 2006). El fuste del árbol fue trozado en largos comerciales. De la base (a 10 cm del suelo) de estos ejemplares fueron extraídos discos de 2,5 cm de espesor, de cada uno de ellos, se extrajo un listón central con largo equivalente al diámetro del mismo para evaluar el ángulo microfibrilar y la densidad básica.

Angulo Microfibrilar

Del listón central, se tomaron bloques de 2x2x2cm de tres sectores radiales, desde la médula hacia la corteza: interno (A: bloque inmediato cerca de la médula), medio (B: aproximadamente al 50% del radio) y externo (C: el bloque adyacente a la corteza). Estos bloques fueron hervidos por 24 horas (hasta lograr el ablandamiento del material). Del leño temprano y tardío, se obtuvieron cortes tangenciales longitudinales de 5mm de espesor, de tipo “palillos”. Este material fue introducido en tubos de ensayos con una solución de maceración de Franklin (a una proporción 1:1 de ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno 130 vol.), tapados con papel de aluminio y llevados a estufa a 60°C durante 30 horas logrando la disociación de los elementos celulares. Luego de la deslignificación se realizó un lavado con agua destilada para extraer toda la solución. Se colocó el material disociado sobre portaobjeto, junto a media gota de safranina al 1% para promover la coloración de las traqueidas y consecuentemente, facilitar la visualización de las mismas al microscopio, una pequeña fracción de traqueidas coloreadas fue transferida para otro portaobjeto, agregándole media gota de glicerina; se distribuyó las traqueidas sobre la lámina, luego se colocó el cubre objeto, con un papel de toalla se extrajo el exceso de glicerina. Se confeccionaron 5 láminas temporarias por cada una de las posiciones radiales, de manera de asegurar la obtención de por lo menos 5 mediciones del AMF por lámina, con un mínimo de 25 mediciones para cada muestra.

Con el auxilio de un microscopio triocular, acoplado a una cámara digital, se tomaron 30 microfotografías digital (400x de aumento), que fueron empleadas posteriormente para medir AMF a través de las puntuaciones, con un software de versión libre “Image Tool”, previamente calibrado. En la fotografía de cada traqueida, se midieron todas las puntuaciones, obteniéndose para cada una de las muestras más de 90 mediciones de AMF, con un total de 1410 mediciones.

Densidad básica

Sobre el listón central, desde la médula a la corteza (hacia la derecha y la izquierda), se marcaron probetas 2x2x2cm, alcanzando un total de 131 muestras. El volumen de las mismas se determinó mediante el método de desplazamiento volumétrico, luego las probetas fueron llevadas a estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C hasta peso constante para estimar densidad básica.

La densidad básica se determina aplicando la ecuación (1)

$$\text{Ecuación (1)} \quad DB = \frac{P_A}{V_S}$$

Donde DB= densidad básica (g/cm^3), P_A =peso anhidro, V_S =volumen saturado.

Para el análisis estadístico, las probetas fueron agrupadas en tres secciones relativas a la longitud radial. La sección interna (A) de 0 a 33,33% del radio, media (B) de 33,34 % al 66,67% y externa (C) de 66,67 al 100% del radio.

Resultados y Discusión

Al observar las microfotografías de las traqueidas (**imagen 1a y 1b**), podemos percibir que existen diferencias visibles en las puntuaciones de las mismas. En las traqueidas obtenidas de la sección interna las puntuaciones son abundantes y de forma redondeada, sin embargo, son más escasas y con forma más alargada en caso de las traqueidas de la sección externa.

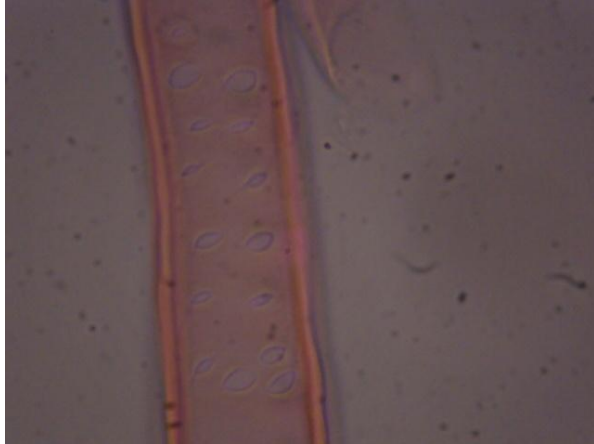


Imagen 1a: Árbol 22-Sección A. Aumento 400X

Image 1a: Tree 22-Section A. 400X increase.

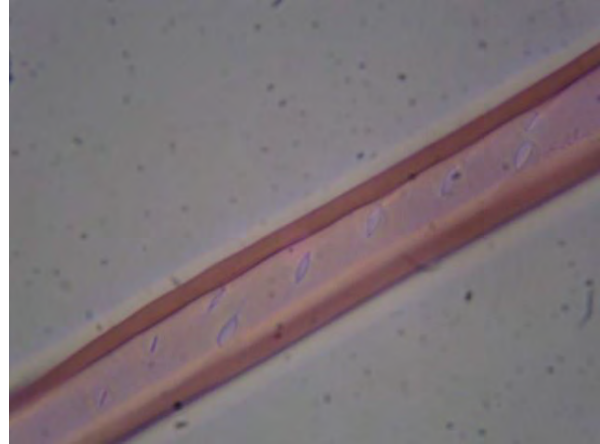


Imagen 1b: Árbol 22-Sección C. Aumento 400X.

Image 1b: Tree 22-Section C. 400X increase.

El AMF vario en el sentido radial dentro de un mismo árbol (**figura 1**) y también entre árboles (**figura 2**). Decece desde la médula a corteza de 56,24°, 54,62° y 42,06° promedios para la sección interna (A), media (B) y externa (C) respectivamente (**figura 1**), siendo las 3 secciones estadísticamente diferentes entre sí para un nivel de confianza del 95%. Este patrón se refleja en diferentes citas bibliográficas, valores similares para *Pinus taeda* fueron encontrados por Huang et al. 1997.

Estos resultados podrían estar indicando que la madera está compuesta apenas por leño juvenil. Jones et al., 2005 a los efectos de caracterizar la madera de *Pinus taeda* proveniente de plantaciones locales de tres regiones fisiográficas en Georgia (EE.UU.), representadas por 15 sitios diferentes entre los 21 y 26 años de edad, han determinado el AMF a través de espectroscopia NIR (Near infrared) obteniendo los siguientes valores 10,98°, 45,21° y 26,64° de mínimo, máximo y media respectivamente, para un total de 729 puntos de medición. Posteriormente Schimleck et al., 2007 aumentando el tamaño de la muestra a 1637 puntos de medición obtuvieron para la misma especie valores de AMF de 9,6°, 51,0° y 26,3° de mínimo, máximo y media respectivamente.

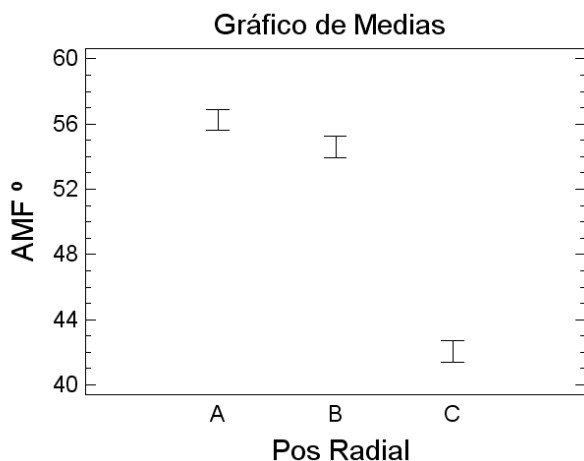


Figura 1: Variación AMF por Posición Radial

Figure 1: Variation AMF by Radial Position

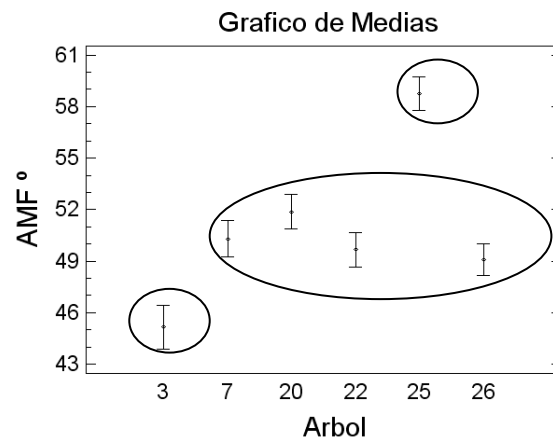


Figura 2: Variación del AMF entre árboles.

Figure 2: Variation of AMF between trees

También Donaldson, 2008, menciona en su trabajo a varios autores que concuerdan con que el AMF promedio de la capa S2 de la madera madura de coníferas se encuentra entre 5 y 20° respecto al eje de la fibra, sin embargo señala que AMF más elevado han encontrado para madera juvenil, entre 25° a 35° en promedio, e incluso valores de 50° en anillos más próximos a la médula (Megraw, 1985; Bendtsen and Senft, 1986), particularmente en la base de los árboles, contribuyendo a una baja resistencia en los rollos basales, teniendo en cuenta este antecedente podríamos decir que contamos solamente con leño juvenil.

Bendtsen y Senft (1986) reportaron que los ángulos microfibrilares de *Pinos taeda* no habían alcanzado todavía valores estables a los 30 años de edad.

Jankowski (1979), considera que a mayor ángulo microfibrilar mayor contracción longitudinal, disminuyendo desde la médula hacia la corteza, siendo ese cambio acentuado en la región de madera juvenil y gradual en la madera madura. También Lara Palma y Ballarin (2003) sostienen que en madera juvenil la contracción longitudinal puede ser superior al 9% (o incluso superar este valor) que en madera madura, lo que puede afectar la estabilidad dimensional de los productos. Dado los antecedentes, sería de esperar en este caso que la madera de estos árboles presente altos valores de contracción longitudinal. Esta última característica favorece la aparición de defectos en la madera, lo que podría en algunos casos llegar a inviabilizar su uso.

La orientación de las microfibrillas en la capa S2 de la pared celular de la traqueida de madera juvenil varía ampliamente dentro y entre los diferentes árboles (Megraw, 1985). En la **figura 2** se puede observar la variación del AMF de los 6 árboles empleados en el estudio, a pesar de que todos han recibido igual tratamiento silvícola, el individuo 3 presenta menor AMF promedio (**figura 2**) y una densidad promedio relativamente alta (**figura 3**) respecto a los demás individuos y el árbol 25 presenta mayor AMF promedio (**figura 2**) y una menor densidad promedio (**figura 3**).

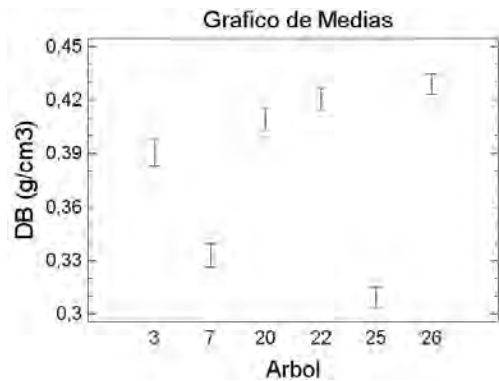


Figura 3: Variación de la DB entre árboles

Figure 3: Variation DB between trees

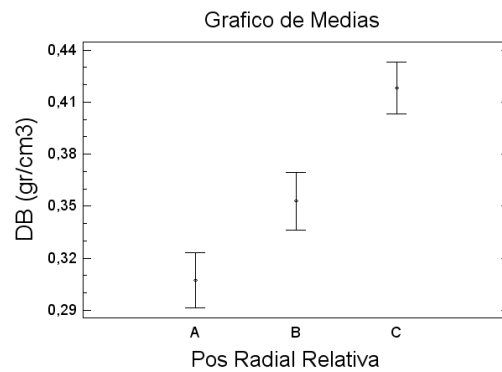


Figura 4: Variación radial de la DB

Figure 4: Radial variation of the DB

En la **figura 2** podemos observar que el valor medio para el AMF forma 3 grupos, el árbol 3 con menor AMF, el árbol 25 con mayor AMF y la media para los 4 árboles restantes se ubican entre estos valores. Entonces podríamos sugerir que en el árbol 3 existiría un potencial para la selección genética por bajo ángulo de microfibrillas (Donaldson, 1992), este sería el mejor ejemplar debido a sus características, su madera sería de mayor resistencia, más estable estructuralmente, con menores contracciones longitudinales, mayor densidad, con mayor rendimiento en el pulpado y con fibras de mejor calidad. El árbol número 25 proporcionaría madera de calidad inferior respecto a los demás.

Tal vez el espaciamiento entre árboles, junto al material genético podrían ser utilizados para evitar efectos indeseables causados por altos AMF. Según Porta y Fadrique (2003) los tratamientos silviculturales como la poda, producirían una aceleración de la maduración del leño representado por la disminución más marcada del ángulo microfibrilar, tal vez sería esto lo que estaría indicando la disminución radial del AMF entre la sección interna y externa, aunque son valores muy elevados para indicar la presencia de leño maduro.

Según Waghorn (2006) la variación en el AMF cumple un propósito funcional en el crecimiento y es dependiente de la edad del árbol, se espera que árboles jóvenes presenten altos AMF, pues las mismas deben ser flexibles para que el tronco se incline con el viento sin llegar a romperse. Lo contrario sucede en árboles adultos donde se necesita mayor rigidez para que el árbol soporte el aumento de peso del tronco y de la copa. Otra explicación, puede estar basada en el diámetro del tronco, muchas veces árboles con mayores diámetros presentan una tendencia de valores más elevados del AMF. Farber et al., 2001 sostienen que un aumento en el diámetro provoca la formación de leño de compresión, como también fuerzas de tracción y tensiones superficiales en el tronco acarreado un aumento en el ángulo microfibrilar.

Los altos valores de AMF podrían explicarse en parte por material genético utilizado, con bajo grado de mejora, y también por el gran espaciamiento entre árboles, lo que favorece su rápido crecimiento, aunque también podría deberse a la metodología empleada. Huang et al., 1997, menciona que empleo de las puntuaciones de las traqueidas para estimar AMF tiende a sobrestimar los ángulos de microfibrillas de las traqueidas de la madera temprana.

Senft y Bedtsen (1985) consideran que esta metodología presenta la desventaja de que las puntuaciones no siempre se pueden encontrar en cantidad suficiente que satisfaga las necesidades del investigador o en puntos específicos donde se desea hacer una medición. En algunas zonas pueden presentarse un número relativamente elevado de puntuaciones que tienden ser fácilmente observables, en otras pueden observarse esporádicamente o también pueden estar ausentes en otras zonas, en algunas especies no son visibles en absoluto. Para nuestro estudio, en *Pinus taeda*, las puntuaciones fueron encontradas en cantidades

abundantes en algunas traqueidas y en menor cantidad en otras. Lo que nos permite inferir que las primeras corresponden al leño temprano y la segunda al leño tardío.

A pesar de las limitaciones de esta metodología, es de fácil aplicación, no requiere de gran inversión y permite evaluar rápidamente la orientación microfibrilar en las paredes celulares de la madera de *Pinus taeda*. Tal vez no sería recomendable esta técnica para realizar mediciones de AMF en especies de latifoliadas.

La densidad básica varía entre árboles (**figura 3**) y también en sentido radial, aumenta de 0,31 a 0,42 g/cm³ de la médula (sección interna: A) a la corteza (sección externa: C) (**figura 4**), patrón comparable con otros estudios.

Según Huang *et al.* (1997) los coeficientes de correlación entre las mediciones realizadas mediante esta técnica con respecto a las obtenidas con Luz Polarizada y Difracción de rayos X son 0,83 y 0,56 respectivamente.

La correlación entre AMF y densidad en este estudio es baja ($R = -0.59$), lo que indicaría que la densidad no sería un parámetro suficiente para inferir sobre la calidad estructural de la madera. Para valores elevados de AMF y valores bajos de densidad en *Pinus taeda*, la relación entre ambas variables es débil, mejorando la misma para densidades superiores a 500 kg/m³ (Schimleck *et al.*, 2007). Varios autores, entre ellos, Senft y Bendtsen (1985), Cown (1992), Walker y Butterfield (1995) sugieren que la selección en base a la densidad no sería el mejor método para mejorar la calidad maderera. Sin embargo, opinan que la densidad sigue siendo un indicador importante de la resistencia de la madera. Donaldson (1992 y 1996) aseguran que la selección en base al AMF superaría al método de selección por la densidad.

Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye que en *Pinus taeda*, el AMF disminuye desde médula a corteza y la densidad básica aumenta su valor en el mismo sentido.

Los resultados encontrados para AMF pueden ser preocupantes ya que árboles con alto valor de ángulo microfibrilar presentan altos valores de contracción longitudinal. Esta propiedad favorece la aparición de defectos antes, durante y después del procesamiento mecánico de la madera como así también dificulta el proceso de secado.

El AMF y la densidad básica acompañada de otros caracteres de la madera (espesor de pared, largo de fibra, proporción de leño temprano y tardío) podrían ser excelentes indicadores de la calidad maderera.

Dado que estos estudios son incipientes para materiales de nuestra zona, se recomienda realizar nuevos experimentos con *Pinus taeda*, provenientes de otros sistemas de manejos, de material genético mejorado y en plantaciones de mayores edades.

Las prácticas silviculturales que minimicen el valor de AMF, acompañado del material genético seleccionado, tal vez sería la estrategia más adecuada para evitar efectos indeseables en la madera causados por altos valores de AMF.

Agradecimientos

Se agradece a Eduardo DeCoulon por facilitarnos su propiedad para la instalación del ensayo. Al Ing. Nahuel Pachas, quien realizó oportunamente la instalación de parcelas de donde obtuvimos la materia prima, a los alumnos de maestría y doctorado en Tecnología de la Madera de la Escuela Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Mariana, Vinicios y Tasio por su colaboración en tareas de laboratorio y preparados microscópicos.

Bibliografía

- Bendtsen, B.A. 1978. "Properties of wood from improved and intensively managed trees". *Forest Products Journal* 28 (10):61-72.
- Bendtsen, BA; and Senft, J. 1986. "Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine". *Wood and Fiber Science*. 18 (1): 23-38. Resumen disponible en < <http://swst.metapress.com/content/mqk614333w4k5q65/>> (Acceso:03 de mayo de 2012)
- Brown, M.J.; Mc Williams, W.H. 1990. "Pine stands across the South - trends and projections", In: *Proceedings of the Southern Plantation Wood Quality Workshop; 1989*; Athens. Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture. pp. 1-15.
- Cave, I.D. 1968. "Anisotropic elasticity of the plant cell wall". *Wood Science And Technology*. 2: 268-278.
- Cown, D.J.; Young, G.D.; and Burdon, R.D. 1992. "Variation in wood characteristics of 20 year old half sib families of *Pinus radiata*". New Zealand. *Journal of Forestry Science* 22(1): 63-76.
- Donaldson, L. A. 1992. "Within and between tree variation in microfibril angle in *Pinus radiata*". *New Zealand Journal of Forestry Science*. 22(1):77-86.
- Donaldson, L. A. 1996. "Effect of Physiological Age and Site on Microfibril Angle in *Pinus radiata*". *IAWA Journal*. 17(4):421-429.
- Donaldson, L. A. 2008. "Microfibril angle: measurement, variation and Relationships – a review". *IAWA Journal*, Vol. 29 (4), 345–386.
- Färber, J., Lichtenegger, H. C., Reiterer, A., Stanzl-Tschegg, S. y Fratzl, P. 2001. "Cellulose microfibril angles in a spruce branch and mechanical implications". *Journal of Materials Science*, 36: 5087-5092.
- Huang, C.L.; Kutscha, N.P.; Leaf, G.J.; and Megraw, R.A. 1997. "Comparison of microfibril angle measurement techniques". In: B.G. Butterfield (ed.), *Microfibril angle in wood: 177–205. IAWA and IUFRO*, Christchurch, New Zealand.
- Jankowsky, I.P. 1979. "Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial". *Circular Técnica IPEF*, Piracicaba, v.81, p. 1-18.
- Jones, P.D.; Schimleck, L.R.; Peter, G.F.; Daniels, R.F. and Clark, A.III. 2005. "Nondestructive estimation of *Pinus taeda* L. wood properties for samples from a wide range of sites in Georgia". *Can. J. For. Res.* 35: 85–92.
- Köhl, M.; Magnussen, S.; Marchetti, M. 2006. *Sampling Methods. "Remote Sensing and GIS"*. *Multiresource Forest Inventory*. Ed. Springer. Berlin. Heidelberg. Serie Tropical Forestry. p. 17-69.
- Lara Palma HA, Ballarin AW. 2003. "Propiedades de contracción na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L". *Scientia Forestali* (64):13-22.
- Megraw, R. A. 1985. "Wood Quality Factors in Loblolly Pine", The influence of tree age, position in tree, and cultural practice on wood specific gravity, fiber length, and fibril angle. *TAPPI PRESS*. Printed in the United States of America. Copyright.
- Meylan, B.A.; Probine, M.C. "Microfibril angle as a parameter in timber quality y assessment". *Forest Products Journal*. 19 (4): 30-33. (1969).
- Porta, M.G. y Fadrique, J. 2003. "Madera Juvenil en *Pinus elliottii* (Engelm), Cultivado en Uruguay". Tesis de Grado. *Facultad de Agronomía*. Montevideo.
- Rodriguez, M. E. Cardozo, A.; Ruiz Díaz, M.; Prado. D. E. 2004. "Los bosques nativos misioneros: estado actual de su conocimiento y perspectivas". Disponible en: *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina*. Ed.: Arturi M.; Frangi J.; Goya. J. EDULP. La Plata. p. 3-33.
- Schimleck, L. R.; Tyson, J.A.; Jones, P.D.; Peter, G.F.; Daniels, R.F. and Clark III, A. 2007. "*Pinus taeda* L. wood property calibrations based on variable numbers of near infrared spectra per core and cores per plantation". *Near Infrared Spectrosc.* 15, 261-268.
- Senft, J. F.; Bendtsen, B. A. 1985. "Measuring microfibrillar angles using light microscopy", *Wood and Fiber Science*, 17(4), pp. 564-567.
- Servicio Meteorológico Nacional. Datos Estadísticos. "Período 1981-1990. Ciudades de Iguazú y Posadas". (2008). Disponible en: <<http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Posadas>; <http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Iguazú>> Acceso en: 09 de abril de 2012.
- Treacy, M.; Evertsen, J.; Ní Dhubháin, A. 2000. "A Comparison of Mechanical and Physical Wood Properties of a Range of Sitka Spruce Provenances". David Nevins. Chairman. *COFORD*.
- Waghorn, M. 2006. "Effect of initial stand spacing and breed on dynamic modulus of elasticity of *Pinus radiata*". Thesis mestrado. The New Zealand *School of Forestry*. University of Canterbury. 125 pp.
- Walker, J.C.F. y Butterfield, B.G. 1995. "The Importance of Microfibril Angle for the Processing Industries". *New Zealand Forestry*. 4(4):34-40.