

Volumen 22 N° 1
Abril 2016

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

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL



**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**



INFOR

VOLUMEN 22 N° 1

**CIENCIA E
INVESTIGACION
FORESTAL**

Abril 2016

**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**

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

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

Director	Fernando Rosselot Téllez	INFOR	Chile
Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR - IUFRO	Chile
Consejo Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR - IUFRO	Chile
	Braulio Gutiérrez Caro	INFOR	Chile
	Juan Carlos Pinilla Suárez	INFOR - IUFRO	Chile
Comité Editor	José Bava	CIEFAP	Argentina
	Leonardo Gallo	INTA	Argentina
	Mónica Gabay	SAYDS	Argentina
	Heinrich Schmutzhenhofer	IUFRO	Austria
	Marcos Drumond	EMBRAPA	Brasil
	Sebastiao Machado	UFPR	Brasil
	Antonio Vita	UCH	Chile
	Juan Gastó	UC	Chile
	Miguel Espinosa	UDEC	Chile
	Sergio Donoso	UCH	Chile
	Vicente Pérez	USACH	Chile
	Camilo Aldana	CONIF	Colombia
	Glenn Galloway	CATIE	Costa Rica
	José Joaquín Campos	CATIE	Costa Rica
	Ynocente Betancourt	UPR	Cuba
	Carla Cárdenas	MINAMBIENTE - IUFRO	Ecuador
	Alejandro López de Roma	INIA	España
	Isabel Cañelas	INIA - IUFRO	España
	Gerardo Mery	METLA - IUFRO	Finlandia
	Markku Kanninen	CIFOR	Indonesia
	José Antonio Prado	MINAGRI	Chile
	Concepción Lujan	UACH	México
	Oscar Aguirre	UANL	México
	Margarida Tomé	UTL - IUFRO	Portugal
	Zohra Bennadji	INIA - IUFRO	Uruguay
	Florencia Montagnini	U. Yale - IUFRO	USA
	John Parrotta	USDA FS - IUFRO	USA
	Oswaldo Encinas	ULA	Venezuela
	Ignacio Díaz-Maroto	USC	España

Dirección



Instituto Forestal
Sucre 2397 - Casilla 3085 - Santiago, Chile
Fono 56 2 3667115 Fax 56 2 2747264
Correo electrónico sbarros@infor.gob.cl

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

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

ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO Y PROYECCIÓN DE SERIES DE PRECIOS DE TABLEROS DE MADERA EN EL MERCADO NACIONAL, CHILE

Toledo, Roger¹

RESUMEN

Este artículo revisa las opciones metodológicas disponibles en herramientas automatizadas en R para la selección de modelos no paramétricos y la realización de proyecciones. Para ello se han utilizado como ejemplo cuatro series mensuales de precios de tableros de madera para el mercado nacional, y ARIMA y métodos de suavizamiento exponencial para el modelamiento de los datos. Los paquetes y funciones disponibles en R son más que suficientes para la selección de modelos y la realización de proyecciones, con un amplio conjunto de opciones para el usuario. Sin embargo, para usar estas herramientas se requiere un nivel de usuario intermedio en series de tiempo y R, a fin de permitir una buena interpretación de los resultados, entender las particularidades de las funciones y crear instrucciones sencillas en el software.

Un estudio preliminar de las series determinó que son no estacionarias y ausencia de quiebres estructurales. El modelamiento ARIMA de las series arrojó que el mejor modelo para los datos de tableros contrachapados y MDP es un ARIMA(0,1,0) con constante, mientras que para MDF es un ARIMA(0,1,0)(0,0,1)₁₂. En el caso de los modelos de suavizamiento exponencial, los resultados señalan que las series de tableros contrachapados deberían ser modeladas como un ETS(A,N,N), en tanto que las series de MDP y MDF con un ETS(M,N,N). Adicionalmente, los test estadísticos descartan la existencia de tendencias en las series. El análisis de las medidas de precisión para las proyecciones arroja que los modelos ARIMA son más precisos en las series de MDP y MDF, mientras que los modelos de suavizamiento exponencial son más exactos en el caso de los tableros contrachapados.

Palabras clave: ARIMA, métodos de suavizamiento exponencial, proyecciones, R.

SUMMARY

This article examines the available methodological options in automated tools in R to select nonparametric models and make forecasts. Four time series for wood-based panels for domestic market were used as examples and ARIMA and exponential smoothing method for data modeling. The packages and functions available in R are enough to make the model selection and the forecasts, with a wide set of options for the user. However, the use of these tools requires an intermediate user level in time series analysis and R, in order to allow a good interpretation about the results, understand the particularities of the functions and create simple instructions into the software.

A preliminary study about the series confirms that are nonstationary and absence of structural changes. The ARIMA modeling concludes that the best model for plywood and MDP is an ARIMA(0,1,0) with drift, whereas for MDF is an ARIMA(0,1,0)(0,0,1)₁₂. In the case of exponential smoothing, results indicate that time series of plywood should be modeled as an ETS(A,N,N), and MDP and MDF as an ETS(M,N,N). Additionally, the statistical tests reject the existence of trend in all time series. The analysis of accuracy measures for forecasting shows that whereas that ARIMA models are more accurate for MDP and MDF, for plywood are more precise the exponential smoothing models.

Keywords: ARIMA, exponential smoothing methods, forecasting, R.

¹ Instituto Forestal, Chile. roger.toledo@infor.cl.

INTRODUCCIÓN

Las variables económicas y en particular las series de precios gozan de un cierto interés desde la economía y los negocios debido a lo relevantes que son para el proceso de toma de decisiones de diversa índole. Sin embargo, en el sector forestal no existen instituciones que recopilen y realicen proyecciones de precios u otras variables de tipo económico. Desde el punto de vista empresarial, tampoco se cuenta con indicadores de expectativas específicos. En este escenario, es la propia empresa la que debería realizar sus propias estimaciones para proyectar las variables económicas de interés. Por ello, es de interés importancia dimensionar la dificultad existente en este sentido.

El Instituto Forestal (INFOR) elabora desde hace varias décadas series de precios de productos forestales con altas frecuencias (mensuales, bimensuales o trimestrales), tanto para el mercado interno como para los productos exportados. En estos registros es posible encontrar una buena fuente de información para realizar algunas proyecciones, especialmente para los productos más representativos del sector forestal.

En general, las técnicas de estimación de *forecasting* requieren de al menos un nivel intermedio de conocimientos de econometría y en especial de series de tiempo. Aun con los conocimientos necesarios, el procedimiento para obtener un modelo adecuado requiere invertir un tiempo importante, especialmente si no existe un conocimiento previo de la serie. Además, los recursos necesarios son incrementales en el número de series a analizar. En el caso de los modelos ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*), ampliamente utilizados, muchos profesionales se inclinan por utilizar la metodología de Box-Jenkins cuya aplicación "es más un arte que una ciencia" (Enders, 2015), apreciación que se relaciona con la subjetividad presente en la selección de modelos que posteriormente pueden ser utilizados para realizar *forecasting*. Por las razones antes mencionadas, muchos autores han destinado esfuerzos al desarrollo de algoritmos automatizados que asistan en la selección de modelos o que realicen el proceso de forma totalmente automatizada (Hyndman and Khandakar, 2008; Küsters *et al.*, 2006).

Para la realización de *forecasting* la literatura de series de tiempo ofrece un conjunto de amplio de alternativas univariadas, entre ellos los más conocidos y utilizados son los modelos de suavizamiento exponencial (*Exponential Smoothing Models*) y los modelos ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*) (Poler y Mula, 2011). En este contexto, el objetivo de este artículo es revisar el uso de herramientas automatizadas para la selección de este tipo de modelos para su posterior uso en *forecasting*. Con ello se pretende motivar la introducción de herramientas de *forecasting* al análisis estadístico y de coyuntura de las series de precios de productos forestales chilenos. Para ello se utilizarán las series de precios de tableros para el mercado nacional expresadas en US\$/m³, debido a la relevancia del mercado de tableros en el país y a nivel internacional.

Para la evaluación del desempeño de los modelos seleccionados se analizarán los resultados de las estimaciones *out-of-sample*. Paralelamente, se realizarán revisiones paso a paso para verificar la idoneidad de los modelos obtenidos anteriormente. Como supuestos de trabajo está la selección de modelos más armónicos, los cuales son más adecuados para la realización de *forecasting*.

Para efecto de las estimaciones se utilizaran el software R (www.r-project.org) y las herramientas automatizadas asociadas a él. Tanto el software como los paquetes estadísticos utilizados son distribuidos bajo una licencia pública general tipo GNU.

En la siguiente sección de materiales y métodos se describen de forma general las metodologías utilizadas, las particularidades de cada una y el procedimiento general de estimación en base a las herramientas de R. También se incluye una descripción de los datos utilizados. Luego, en la sección de resultados se muestran los modelos seleccionados con las herramientas de R y se analiza su desempeño e idoneidad en base a criterios generales. Finalmente se realiza una discusión de los resultados y se plantean las principales conclusiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En los últimos 35 años la literatura especializada ha mostrado distintos esfuerzos por desarrollar y revisar *software* y herramientas u algoritmos que permitieran la selección automatizada o parcialmente automatizada de modelos. Una parte importante de esta literatura es revisada por Küsters *et al.* (2006), quienes analizan los distintos periodos desde el año 1969 hasta 2006, poniendo énfasis en las limitantes iniciales, los ámbitos de aplicación y los desafíos de estas herramientas a futuro.

Con la proliferación de alternativas metodológicas, la evolución de los *software* y el interés académico y empírico, ha surgido la necesidad de evaluar y revisar cada una de las opciones relevantes. En este sentido la literatura también es abundante, concentrando gran atención la revisión mediante diversas medidas de ajustes propuestas por diversos autores y las pruebas con grandes grupos de series, tales como las competencias M, especialmente M3.

En particular, Koning *et al.* (2005) realiza un análisis a un conjunto de 22 métodos, a fin de evaluar su desempeño considerando la significancia estadísticas de sus resultados. Las comparaciones de los autores concluyen que existe un grupo importante de métodos que no son diferentes significativamente, que la complejidad de los mismos no tiene relación con su precisión y que la combinación de métodos no necesariamente genera mejores predicciones.

Dentro de los métodos comparativamente mejor evaluados están Theta, Holt, Dampen y Winter. Un resultado importante del análisis comparativo es que el único método que resulta robusto al variar la periodicidad de los datos y el horizonte de predicción es Theta. En cambio, los demás métodos mencionados muestran drásticos cambios en los resultados dependiendo del contexto.

Por ejemplo, los métodos Holt y Winter son más destacados si se trata de datos mensuales, cualquiera sea el horizonte (1, 6, 12 o 18 meses); por su parte el método Dampen tiene un buen desempeño con datos anuales y trimestrales, pero con datos mensuales y un horizonte de tiempo superior a un periodo es muy pobre.

Hyndman y Billah (2003) realizan una detallada revisión del método Theta, originalmente desarrollado por Assimakopoulos y Nikolopoulos (2000), logrando una importante simplificación algebraica y demostrando que es equivalente a un modelo simple de suavizamiento exponencial (SSE) con pendiente, el cual además es equivalente a un caso especial del método Holt con un parámetro de suavizamiento de la pendiente igual a cero y que puede ser modelado como un proceso ARIMA(0,1,1) con pendiente.

Adicionalmente, los autores utilizando una competencia M3, con datos anuales, verifican que el modelo SSE con pendiente generalmente se desempeña mejor que el método Theta original y el recalculado por los autores, lo cual se debería al proceso de optimización. Particularmente, el SSE con pendiente obtuvo un peor desempeño comparativo solo en el horizonte de predicción de 3 años, resultado que se explicaría por la gran cantidad de cambios de tendencia en una serie en particular.

Pese a lo anterior, el modelamiento tradicional para realizar *forecasting* se ha inclinado por los métodos de suavizamiento exponencial o ARIMA. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas. Comparativamente los métodos de suavizamiento exponencial admiten opciones lineales y no lineales, y los casos lineales son todos casos especiales de los modelos ARIMA, mientras que las alternativas no lineales son propias solo de estos modelos. Los métodos de suavizamiento exponencial asumen que las series son no estacionarias, en cambio para los modelamientos con ARIMA no es necesario este supuesto.

Adicionalmente, los modelos de suavizamiento exponencial tienen la limitante de contar con solo 30 modelos en comparación a los modelos ARIMA que ofrecen un mayor número. Pese a ello, Hyndman y Khandakar (2008) sostienen que las alternativas disponibles para los modelos de suavizamiento exponencial son suficientes para adecuarse al comportamiento de casi todas las series económicas y de negocios. Por otra parte, el desempeño de los modelos de suavizamiento

exponencial es mejor que el de los modelos ARIMA en datos mensuales y trimestrales (Hyndman *et al.*, 2002).

La realización de proyecciones supone la selección de un modelo previamente, ya sea paso a paso o de forma automatizada en base a un algoritmo. En este caso, la atención estará en la selección completamente automatizada en R, *software* que dispone de herramientas que realizan la selección de modelos ARIMA o SARIMA (*Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average*), en adelante solo ARIMA, y de métodos de suavizamiento exponencial. También permite realizar *forecasting* con los modelos elegidos.

Estas herramientas están incorporadas en el paquete estadístico llamado "*forecast*", cuyo autor es Rob James Hyndman. Los output de las proyecciones contienen las predicciones o puntos y los intervalos de confianza para el periodo proyectado.

El paquete *forecast* también permite obtener estimaciones utilizando el método Theta. Existen además otros paquetes estadísticos complementarios necesarios para análisis adicionales, tales como stats, tseries y urca. Cada uno de estos paquetes tiene amplia documentación en el sitio web de R, la cual es actualizada continuamente.

También es posible consultar la ayuda del *software* sobre las funciones que se desee utilizar. Por ejemplo, si se desea tener información de las funciones Arima o ets, solo se debe ingresar help(Arima), ?ets o ??ets.

Las automatizaciones que están disponibles en *forecast* tienen amplias ventajas, especialmente para quién no tiene los conocimientos de un experto o desea comparar sus resultados, ya que permite obtener resultados muy rápidos que pueden acelerar la toma de decisiones y/o alimentar proyecciones multivariadas. Estas ventajas cobran mayor relevancia cuando se necesitan obtener *forecasting* para grandes set de variables.

Adicionalmente, el paquete *forecast* permite especificar el modelo ARIMA explícitamente a través de la función "Arima" y reutilizar los parámetros obtenidos. Algo similar está disponible para los métodos de suavizamiento exponencial, en el mismo paquete estadístico, a través de la función HoltWinters (también disponible en el paquete stats) y la función ets.

Sin embargo, estas dos opciones no son equivalentes debido a que la función HoltWinters restringe las opciones de modelamiento a un pequeño grupo de modelos con error aditivo, mientras que la función ets establece un conjunto más amplio de posibilidades (30 modelos en total) y considera la opción de un término de error aditivo o multiplicativo.

Esto último es de vital importancia pues entrega mayor flexibilidad en el modelamiento de los datos, sobre todo cuando no se tiene un conocimiento previo que permita tener una adecuada intuición sobre como modelar el término de error.

Sin embargo, es importante considerar que el modelamiento del término de error de forma aditiva o multiplicativa no afecta las proyecciones de la variable, solo tiene un efecto en los intervalos de confianza (Hyndman y Khandakar, 2008).

Forecasting con Modelos ARIMA

Los modelos AR-I-MA consideran dentro de si los procesos autoregresivos (AR), los integrados (I) y los de media móviles (MA). Adicionalmente existe la opción de que la serie pueda ser ajustada mediante un ARIMA con estacionalidad o SARIMA.

Toda esta variedad de opciones son consideradas por la función auto.arima del paquete *forecast*.

La nomenclatura utilizada por Hyndman y Khandakar (2008) es la siguiente:

ARIMA
 (p, d, q)
 (sin estacionalidad)

$$\phi(B)(1-B)^d y_t = c + \theta(B)\varepsilon_t \quad (1a)$$

ARIMA
 $(p, d, q)(P, D, Q)_m$
 (con estacionalidad)

$$\Phi(B^m)\phi(B)(1-B^m)^D(1-B)^d y_t = c + \Theta(B^m)\theta(B)\varepsilon_t \quad (1b)$$

Donde:

- ε_t : Es un proceso ruido blanco con media cero y varianza σ^2
 B : Es el operador de retardos
 $\Phi(z)$ y $\Theta(z)$: Polinomios de orden P y Q respectivamente
 $\phi(z)$ y $\theta(z)$: Polinomios de orden p y q , respectivamente, y ninguno de ellos tiene raíz dentro del círculo unitario, es decir, no tienen raíces para $|z| < 1$.
 m : Parámetro que indica la frecuencia de la estacionalidad.
 Si $c \neq 0$, entonces existe un polinomio de orden d ($d+D$) en la función de predicción del modelo ARIMA sin estacionalidad (con estacionalidad).

Una revisión de los modelos ARIMA se puede encontrar en Enders (2015, cap. 2) o Montgomery *et al.* (2015, Cap. 5).

Para la selección de modelos ARIMA, un procedimiento común mencionado en la literatura es utilizar la metodología de Box-Jenkins. Según Enders (2015) esta consta de tres grandes pasos: Etapa de identificación, etapa de estimación y una última etapa de chequeo. En la etapa de identificación es donde el investigador analiza la autocorrelación y la autocorrelación parcial. Esta etapa es especialmente útil para identificar posibles series no estacionarias, datos atípicos (*outlier*) y faltantes. En la etapa de estimación se calculan todos los posibles modelos en base a los resultados de la etapa anterior. Luego se revisan los coeficientes de cada uno de estos modelos, tratando de elegir uno estacionario y parsimonioso que tenga un buen ajuste a los datos. Por último, la etapa de chequeo es donde se revisa que los errores del modelo sigan el comportamiento de un proceso de ruido blanco.

Pese a lo sencillo de la descripción de los pasos a seguir, esta metodología puede llegar a involucrar una gran demanda de tiempo en algunos casos, especialmente cuando se sospecha de quiebres estructurales. La razón de ello está en que los test para raíz unitaria son comúnmente sensibles a los quiebres estructurales o solo admiten un solo quiebre estructural, como el caso del test de Zivot y Andrews (1992). Esto trae consigo que el investigador, ante la evidencia de un posible quiebre, deba testear utilizando varios test. Lo mismo para testear raíz unitaria, no basta con la inspección visual, es necesario realizar preferentemente más de un test estadístico. Así, un proceso meticuloso de revisión de las series puede tomar tiempo, el cual puede ser visto como una inversión en los casos que se planea un trabajo recurrente con dichas series.

Hyndman y Khandakar (2008) establecieron un algoritmo para estimar automatizadamente los modelos ARIMA (con o sin estacionalidad). El algoritmo ha sido implementado a través de la función `auto.arima` del paquete `forecast`, la cual permite seleccionar de forma automática todos los valores de los parámetros. También está la opción en el algoritmo para que el usuario establezca algunas limitaciones a los valores de los parámetros. Como se espera, el algoritmo contempla un procedimiento paso a paso que comienza con la elección de los valores para D y d . En el caso de D , variable binaria en donde cero indica una serie sin estacionalidad, la función `auto.arima` permite indicar directamente el valor o determinarlo mediante el uso de un test de raíz unitaria estacional como el test OCSB (Osborn-Chui-Smith-Birchenhall) o el test CH (Casanova-Hansen). Por defecto, si nada se indica, el algoritmo actual utiliza el primer test (OCSB). El test CH es una versión modificada del original para permitir que m pueda ser > 12 , ya que originalmente solo puede fluctuar en el intervalo $2 < m < 13$. Luego, para elegir el valor d el algoritmo utiliza el test KPSS propuesto por Kwiatkowski *et al.* (1992), ya que se prefieren modelos más armónicos, pero también el usuario puede indicar el valor directamente o elegir

alternativamente entre los test Dickey-Fuller Aumentado o Phillips-Perron.

En general, la función `auto.arima` permite fijar los valores máximos para los parámetros p, q, P, Q, d y D . Con estas definiciones la búsqueda se puede restringir, pero en ningún caso esto es necesario pues el algoritmo ya tiene limitaciones por defecto. Así, el usuario puede obviar todo y pedir que la función ajuste de forma completamente automatizada un modelo. En cualquier caso, siempre está la posibilidad de indicar test alternativos para ver posibles cambios en la selección que realiza el algoritmo.

Una vez determinados los valores de d y D (y m si corresponde), el algoritmo trabaja en función de cuatro modelos básicos, dependiendo si el valor de m es $= 1$ ó > 1 . En este paso las selecciones se realizan mediante algún criterio de información; Akaike (AIC), Akaike corregido (AICc) o Schwartz (BIC), que puede ser determinado por el usuario, si nada se indica se utiliza AIC. Luego, en el paso dos se prueban múltiples variaciones del modelo preliminar en base a cambios en los parámetros (p, q) o (P, Q) , los cuales normalmente varían en conjunto en ± 1 en cada iteración, a excepción de la constante que puede estar presente o no. Por ello, este paso contempla más de treinta modelos según los valores máximos predefinidos para los parámetros, entre los cuales se selecciona el óptimo en base al criterio de información definido.

El algoritmo que utiliza la función `auto.arima` ha establecido algunas restricciones predefinidas para los parámetros, a fin de evitar problemas de convergencia o procesos que se aproximen a un proceso de raíz unitaria. Las restricciones son: a) (p, q) no pueden ser > 5 ; b) (P, Q) no pueden ser > 2 ; c) todos los modelos con raíces cercanas a la unidad son rechazados ($< |1,001|$); y d) cualquier error en la rutina de optimización implica desechar dicho modelo debido a que los autores asumen que cualquier modelo difícil de ajustar no es un bueno. Finalmente, este algoritmo siempre entregará un resultado válido ya que las posibilidades son finitas y tiene como opción algunos de los cuatro modelos básicos preestablecidos.

La idea de privilegiar modelos más armónicos para la realización de *forecasting* es una idea que tiene adeptos y detractores (Hyndman y Khandakar, 2008). Sin embargo, nada asegura que un modelo más complejo interprete mejor los datos y permita mejorar las predicciones, en este contexto, puede ser aconsejable pensar en un modelo más simple. Por ello, Enders (2015) sugiere utilizar el criterio de información de Schwartz (BIC) para la selección del modelo final. Esto debido a que BIC castiga en mayor medida que AIC la incorporación de nuevas variables, por lo cual implícitamente opta por modelos menos complejos o más parsimoniosos. Sin embargo, hay que tener presente que BIC es mejor en muestras grandes porque es consistente cuando el número de observaciones tiende a infinito, pero en muestras pequeñas es mejor AIC. Por otra parte, si ambos, BIC y AIC, seleccionan el mismo modelo, entonces se puede tener la seguridad que este es la mejor alternativa. Debido a que AIC tiende a seleccionar modelos sobreparametrizados, es conveniente que al utilizar BIC como criterio se testeé si los errores son ruido blanco.

Al trabajar con herramientas automatizadas, es conveniente tener algunas precauciones generales. Antes de cualquier procedimiento es recomendable graficar la serie para detectar cualquier aspecto anormal y revisar las estadísticas descriptivas básicas de la serie. Por lo general, se debe tener presente que los algoritmos pudieran no testear la presencia de quiebres estructurales, como es el caso de la función `auto.arima` del paquete `forecast`, o no realizar correcciones ante la presencia de *outliers*. Por lo anterior, siempre es recomendable realizar una inspección básica inicial a los datos. Además, siempre está la opción de transformar una serie, por ejemplo aplicando logaritmo, para facilitar el análisis, teniendo presente que para las interpretaciones es necesario invertir el proceso y recalcular los intervalos de confianza. Otro aspecto a tener presente es la falta de observaciones y el tratamiento que esto tiene en el *software*.

Una vez seleccionado el modelo (ARIMA o de suavizamiento exponencial), la función `forecast` permite realizar *forecasting* y obtener los respectivos intervalos de confianza. También es posible realizar este procedimiento de dos etapas con una sola instrucción. Por defecto esta función calcula los intervalos con 80% y 95% de confianza, pero el usuario puede definir uno o más distintos. Instituciones como el Banco Central de Chile, en su Informe de Política Monetaria, comúnmente utilizan para las gráficas múltiples intervalos basados en niveles de confianza del

orden del 10%, 30%, 50%, 70% y 90%. Se debe tener presente que en la medida que el horizonte de predicción se incrementa, también lo hará la incertidumbre y con ello el error de predicción. Lo anterior tiene directa relación con los intervalos de confianza, los cuales se amplían conforme crece el horizonte de tiempo. Lo anterior es válido tanto para los modelos ARIMA como para los de suavizamiento exponencial.

Forecasting con Métodos de Suavizamiento Exponencial

Los modelos de suavizamiento exponencial ofrecen una gran variedad de alternativas para el modelamiento de los datos e incluso de los errores. Montgomery *et al.* (2015) entregan una extensa revisión del modelamiento utilizando esta metodología y ejemplos utilizando R. Por otra parte, Hyndman *et al.* (2002) proporcionan una extensa revisión del desempeño de varios métodos de selección, especialmente de uno propuesto por los autores que selecciona el mejor modelo dentro de 24 alternativas y que da origen más tarde a la función ets del paquete *forecast*. En particular, Hyndman *et al.* (2002) demostraron que el método propuesto para estimar, seleccionar y realizar *forecasting* de forma automatizada con modelos de suavizamiento exponencial tiene un buen desempeño, especialmente para realizar proyecciones en horizontes de tiempo de no más de 6 periodos con series que presenten estacionalidad.

La cantidad de alternativas o modelos existentes puede ser desagregada de acuerdo a las características de los tres componentes de la serie: Error, tendencia y estacionalidad. El componente estacional puede o no estar presente y, si lo está, entonces puede tener un comportamiento aditivo o multiplicativo. Lo mismo para el componente tendencia, el cual puede tener un comportamiento aditivo, multiplicativo o suavizado. Por último, existe la alternativa de considerar un error aditivo o multiplicativo.

Algo atractivo de la función ets es la posibilidad de modelar el término de error. Según las pruebas realizadas por Hyndman *et al.* (2002), un modelo con error de tipo multiplicativo fue elegido en 535 casos de 1001 series utilizadas. Esto pone en evidencia que un error de tipo multiplicativo puede ser más frecuente de lo que se cree y, por tanto, la flexibilidad en el modelamiento es necesaria e impone un sesgo hacia las funciones como ets que incorporan esta variante.

Además, Hyndman y Khandakar (2008) señalan que para seleccionar un modelo con error aditivo o multiplicativo es necesario usar algún criterio de información más que medidas de precisión basadas en los errores de las proyecciones a un periodo.

Siguiendo la nomenclatura de Hyndman and Khandakar (2008), los modelos espacio estado para todos los métodos de suavizamiento exponencial pueden ser resumidos en el siguiente sistema de ecuaciones:

$$y_t = w(x_{t-1}) + r(x_{t-1})\varepsilon_t \quad (2a)$$

$$x_t = f(x_{t-1}) + g(x_{t-1})\varepsilon_t \quad (2b)$$

Donde:

$x_t = (i_t, b_t, s_t, s_{t-1}, \dots, s_{t-m+1})'$: Representa el vector estado

ε_t Es un proceso ruido blanco con media cero y varianza igual a σ^2 y $\mu_t = w(x_{t-1})$.

Notar que en modelos con error aditivo se tiene que $y_t = \mu_t + \varepsilon_t$ debido a que $r(x_{t-1}) = 1$.

Por otra parte, en modelos con error multiplicativo se tiene que este término es relativo, es decir, $\varepsilon_t = (y_t - \mu_t)/\mu_t$.

Así se tiene que $r(x_{t-1}) = \mu_t$, e $y_t = \mu_t(1 + \varepsilon_t)$.

La cantidad de modelos posibles quedan descritos en el Cuadro N° 1, donde es posible ver que los 30 modelos disponibles tienen algunas restricciones. En particular, algunas combinaciones de Error, Tendencia y Estacionalidad pueden ocasionar problemas con las estimaciones en aquellos modelos en donde su especificación implica una división por una variable estado (ver modelos en gris). Por otra parte, Hyndman (2014) y Hyndman *et al.* (2008) señalan que los modelos con errores multiplicativos son estables solo cuando los valores de la variable son estrictamente positivos. Por ello, estos modelos son solo recomendables para variables que excluyan la posibilidad de valores iguales a cero o negativos, como el caso de las series de precios objeto de análisis.

Sin embargo, se debe tener cuidado con el tratamiento para las observaciones faltantes en las bases de datos. En otros casos, solo los modelos con error aditivo y en fondo blanco son los recomendados (Cuadro N°1).

Es importante considerar que los modelos planteados en el Cuadro N°1 representan un tipo de modelamiento en particular, pero existen variantes de los mismos. Taylor (2003) hace una revisión de algunas propuestas alternativas para el modelamiento de la tendencia, estableciendo algunas equivalencias, en particular para diferentes valores del parámetro ϕ .

Comúnmente los parámetros de los modelos $(\alpha, \beta, \gamma, \phi)$ fluctúan en el intervalo $(0,1)$ para evitar los casos *extremos*, a excepción de ϕ que debe cumplir la condición $\beta \leq \phi \leq 1$.

Adicionalmente, Taylor (2003) cita que Gardner y McKenzie (1985) sostienen que permitir un $\phi > 1$ es una opción peligrosa para procedimientos automatizados de *forecasting*. Esto se debería a que es poco común encontrar series de tiempo que muestren una fuerte tendencia que aconseje ajustar un modelo con tendencia exponencial.

Una solución para modelar las series que tengan tendencias aparentemente exponenciales es utilizar transformaciones logarítmicas, especialmente si se trata de ajustar un modelo en base a herramientas automatizadas y sin intervención del usuario.

De forma conveniente, para referirse a los modelos del Cuadro N°1 se puede seguir a Hyndman (2014), Hyndman *et al.* (2002) y Taylor (2003), quienes utilizan la sigla ETS (error, tendencia, estacionalidad). Así se tiene que en el Cuadro N°1: ETS(A,N,N) representa un modelo simple de suavizamiento exponencial con error aditivo (celda (1,1)); ETS(A,A,N) es el método lineal Holt con error aditivo (celda (2,1)); ETS(A,A,A) y ETS(M,A,M) son los métodos con tendencia de Holt-Winters con error aditivo y multiplicativo respectivamente; y ETS(A,A_s,N) es el método Holt con tendencia suavizada y error aditivo.

Tal como se señaló antes, la función HoltWinters del software R solo considera algunos modelos con error aditivo, los cuales corresponden a ETS{(A,N,N), (A,A,N), (A,A,A), y (A,A,M)}. En particular, esta función estima los valores de los parámetros minimizando el indicador o medida de exactitud $MSE = n^{-1} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2$, donde y_t representa el valor de la variable en t , e \hat{y}_t es el valor proyectado de la variable para t . Es importante notar que el indicador MSE es escala dependiente.

La función ets tiene algunas características diferenciadoras que la hacen más aconsejable que HoltWinters. Entre otras, la función ets es más flexible ya que admite cualquiera de los modelos planteados, permite ajustar un modelo ya estimado a nuevos datos, optimiza utilizando máxima verosimilitud u otros indicadores, permite obtener intervalos de confianza para las predicciones y arroja valores para los parámetros que son admisibles.

Para la selección de modelos es posible elegir el criterio de información a utilizar (Akaike, Akaike corregido o Schwartz). Adicionalmente, ofrece la opción de restringir la selección a modelos con error aditivo.

La realización de las proyecciones en R es similar a la explicado para los modelos ARIMA.

Cuadro N°1
MODELOS DE SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL

Tendencia		Estacionalidad		
		N	A	M
Modelo con Error Aditivo	N	$y_t = l_{t-1} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} + s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + \alpha \varepsilon_t / s_{t-m}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t / l_{t-1}$
	A	$y_t = l_{t-1} + b_{t-1} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} + b_{t-1} + s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t$	$y_t = (l_{t-1} + b_{t-1}) s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t / s_{t-m}$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / s_{t-m}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t / (l_{t-1} + b_{t-1})$
	A _d	$y_t = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = \phi b_{t-1} + \beta \varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = \phi b_{t-1} + \beta \varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t$	$y_t = (l_{t-1} + \phi b_{t-1}) s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t / s_{t-m}$ $b_t = \phi b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / s_{t-m}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t / (l_{t-1} + \phi b_{t-1})$
	M	$y_t = l_{t-1} b_{t-1} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / l_{t-1}$	$y_t = l_{t-1} b_{t-1} + s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / l_{t-1}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} b_{t-1} s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1} + \alpha \varepsilon_t / s_{t-m}$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / s_{t-m} l_{t-1}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t / (l_{t-1} b_{t-1})$
	M _d	$y_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / l_{t-1}$	$y_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi + s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi + \alpha \varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / l_{t-1}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi s_{t-m} + \varepsilon_t$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi + \alpha \varepsilon_t / s_{t-m}$ $b_t = b_{t-1} + \beta \varepsilon_t / s_{t-m} l_{t-1}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma \varepsilon_t / l_{t-1} b_{t-1}^\phi$
Modelo con Error Multiplicativo	N	$y_t = l_{t-1}(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1}(1 + \alpha \varepsilon_t)$	$y_t = (l_{t-1} + s_{t-m})(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} + \alpha(l_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m} + \gamma(l_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} s_{t-m}(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1}(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $s_t = s_{t-m}(1 + \gamma \varepsilon_t)$
	A	$y_t = (l_{t-1} + b_{t-1})(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = (l_{t-1} + b_{t-1})(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = b_{t-1} + \beta(l_{t-1} + b_{t-1})\varepsilon_t$	$y_t = (l_{t-1} + b_{t-1} + s_{t-m})(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} + b_{t-1} + \alpha(l_{t-1} + b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta(l_{t-1} + b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m} + \gamma(l_{t-1} + b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$	$y_t = (l_{t-1} + b_{t-1}) s_{t-m}(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = (l_{t-1} + b_{t-1})(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = b_{t-1} + \beta(l_{t-1} + b_{t-1})\varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m}(1 + \gamma \varepsilon_t)$
	A _d	$y_t = (l_{t-1} + \phi b_{t-1})(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = (l_{t-1} + \phi b_{t-1})(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = \phi b_{t-1} + \beta(l_{t-1} + \phi b_{t-1})\varepsilon_t$	$y_t = (l_{t-1} + \phi b_{t-1} + s_{t-m})(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} + \phi b_{t-1} + \alpha(l_{t-1} + \phi b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$ $b_t = \phi b_{t-1} + \beta(l_{t-1} + \phi b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m} + \gamma(l_{t-1} + \phi b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$	$y_t = (l_{t-1} + \phi b_{t-1}) s_{t-m}(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = (l_{t-1} + \phi b_{t-1})(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = \phi b_{t-1} + \beta(l_{t-1} + \phi b_{t-1})\varepsilon_t$ $s_t = s_{t-m}(1 + \gamma \varepsilon_t)$
	M	$y_t = l_{t-1} b_{t-1}(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = b_{t-1}(1 + \beta \varepsilon_t)$	$y_t = (l_{t-1} b_{t-1} + s_{t-m})(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1} + \alpha(l_{t-1} b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta(l_{t-1} b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t / l_{t-1}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma(l_{t-1} b_{t-1} + s_{t-m})\varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} b_{t-1} s_{t-m}(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = b_{t-1}(1 + \beta \varepsilon_t)$ $s_t = s_{t-m}(1 + \gamma \varepsilon_t)$
	M _d	$y_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = b_{t-1}(1 + \beta \varepsilon_t)$	$y_t = (l_{t-1} b_{t-1}^\phi + s_{t-m})(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi + \alpha(l_{t-1} b_{t-1}^\phi + s_{t-m})\varepsilon_t$ $b_t = b_{t-1} + \beta(l_{t-1} b_{t-1}^\phi + s_{t-m})\varepsilon_t / l_{t-1}$ $s_t = s_{t-m} + \gamma(l_{t-1} b_{t-1}^\phi + s_{t-m})\varepsilon_t$	$y_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi s_{t-m}(1 + \varepsilon_t)$ $l_t = l_{t-1} b_{t-1}^\phi(1 + \alpha \varepsilon_t)$ $b_t = b_{t-1}(1 + \beta \varepsilon_t)$ $s_t = s_{t-m}(1 + \gamma \varepsilon_t)$

(Fuente: Hyndman, 2014).

T: Tendencia; N: sin tendencia o estacionalidad; A: tendencia o estacionalidad aditiva; A_d: Tendencia suavizada; M: tendencia o estacionalidad multiplicativa; M_d: tendencia suavizada. Además, y_t es la predicción de la variable para t con la información disponible en $t - 1$, l_t es el nivel de la serie en t , b_t representa el crecimiento o pendiente de la serie en t , s_t es el componente estacional de la serie en t , y m denota el número de estaciones por año. Los parámetros $(\alpha, \beta, \gamma, \phi)$ son constantes.

Datos

Las series de precios mensuales utilizadas corresponden al mercado nacional, para los tableros MDF (*Medium Density Fiberboard*) de 15 mm, MDP (*Medium Density Particleboard*) de 15mm y Contrachapados de 9,5 mm y 18 mm. Las series de tableros contrachapados cubren el periodo enero 2002 a mayo 2015, mientras que los tableros MDF y MDP el periodo enero 2000 a mayo 2015.

Cuadro N°2
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA SERIES DE PRECIOS TABLEROS DE MADERA MERCADO NACIONAL

Series	N	Promedio	Desv. St.	Min.	Max.
		(US\$/m ³)			
Contrachapado 9,5 mm	161	516,0	159,06	234,0	771,0
Contrachapado 18 mm	161	482,2	130,86	251,0	695,0
MDP 15 mm	185	271,9	84,87	154,0	404,0
MDF 15 mm	185	403,6	94,71	248,0	573,0

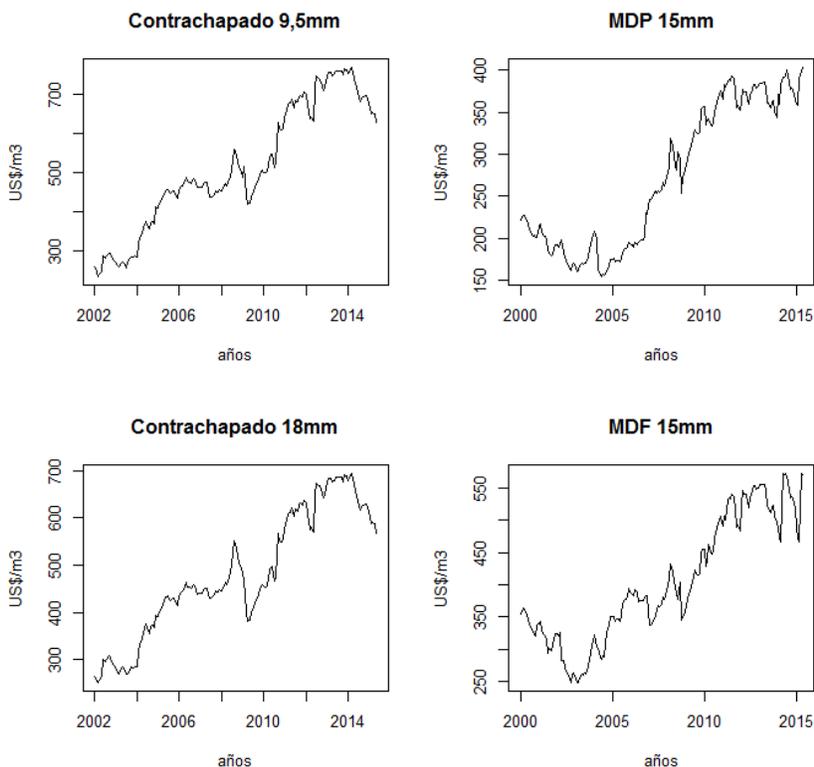


Figura N°1
SERIES DE PRECIOS DE TABLEROS DE MADERA MERCADO NACIONAL

La cantidad de observaciones para cada una de las series de precios son más que suficientes para los requerimientos propios de los modelos que se desea estimar. Se descarta la existencia de datos faltantes o presencia de *outliers*. El análisis de la descomposición de las series muestra distintas tendencias en la última parte de los periodos. Las series de contrachapados muestran un cambio de tendencia a la baja que parte en el segundo semestre de 2013, por lo que ya se podría hablar de un cambio de mediano a largo plazo. Por su parte, los tableros MDF y MDP mantienen una tendencia al alza en el periodo 2005-2012, pero en los últimos años no existe una clara tendencia.

Adicionalmente, se comprobó la ausencia de cambios estructurales en las series mediante la realización de los test EFP (*Empirical Fluctuation Processes*), con las variantes CUSUM y MOSUM, y test F. En todos los casos no fue posible rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, se aceptó que no existen quiebres estructurales en las series de precios en primeras diferencias.

RESULTADOS

El primer paso es determinar si las series son raíz unitaria pese a que visualmente no muestran un comportamiento estacionario (Figura N°1). Este paso podría tener implicancias para el modelamiento con métodos de suavizamiento exponencial debido a que estos asumen que las series no son estacionarias. R ofrece varias alternativas de test en diferentes paquetes, entre los que se encuentran ADF (Augmented Dickey-Fuller), PP (Phillips-Perron), KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shin), y Zivot y Andrews.

Los test ADF y PP son bastante similares aunque pueden diferir en su desempeño en muestras pequeñas debido a que abordan la corrección de la correlación serial y la heterocedasticidad en el error de manera distinta. El test KPSS, a diferencia de los dos test antes mencionados, plantea como hipótesis nula que la serie es estacionaria. De forma complementaria está la opción de testear si la serie es estacionaria con un quiebre estructural en un punto desconocido utilizando el test Zivot y Andrews (1992). El quiebre estructural en este test puede estar en el intercepto, la tendencia o ambos.

Es conveniente, cualquiera sea el test que se aplique, tener presente que existen algunas diferencias en los *p-value* dependiendo del paquete y el test particular. También existen diferencias en los métodos seleccionados para el truncamiento en la corrección de la correlación serial, aún para un mismo test en distintos paquetes, lo cual puede tener implicancias para la significancia. Por último, existen test como el KPSS para el cual no es posible obtener los valores de los coeficientes o su significancia en R, ya que todas las alternativas disponibles no ofrecen la posibilidad de rescatar dichos valores desde el *software*. Entre los paquetes utilizados para la realización de test están: *tseries*, *urca* y *fUnitRoots*.

Los resultados obtenidos de los test ADF y PP no son concordantes en todos los casos (Cuadro N° 3). Por ello se realizó un tercer test, KPSS, el cual incluye constante y tendencia lineal. A partir de este test se determina que las series no son estacionarias, lo cual confirma los resultados del test ADF. Estos resultados permiten asegurar que no existen inconvenientes en la utilización de cualquiera de las dos metodologías propuestas para el modelamiento de las series.

Los resultados del test KPSS (Cuadro N° 4) fueron obtenidos con un rezago. Si los rezagos en el término de error se incrementan a 4, entonces a excepción de la serie contrachapado de 18 mm todos los resultados son significativos al 5 %. La serie contrachapados de 18 mm con 4 rezagos solo es significativa al 10 %.

Se debe considerar que los niveles de truncamiento para el término de error pueden variar de acuerdo al método utilizado, pero generalmente este se determina en función del número de observaciones. La utilización de cuatro rezagos está de acuerdo al método propuesto por Kwiatkowski *et al.* (1992), los autores de este test.

Para la evaluación de quiebres estructurales en las series se realizó el test Zivot y Andrews (1992) con las series en niveles y en logaritmo. Para cada una de las series se consideraron distintas hipótesis en la definición del modelo, incorporando *dummies* para tendencia, intercepto o ambas, tanto para la series en niveles como en logaritmo.

En ningún caso existe evidencia estadística suficiente para rechazar H_0 , por lo tanto, se acepta que las series son raíz unitaria. En el siguiente cuadro se muestran los resultados para las variables en logaritmo, tal como lo hacen Zivot y Andrews (1992) para series de precios.

Cuadro N°3
TEST DE RAÍZ UNITARIA PARA LAS SERIES DE PRECIOS DE TABLEROS

Test	Series	$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \theta \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t$				Raíz Unitaria H_1 : estacionaria
		a_0	γ	a_2	θ	$\gamma = 0$
Augmented Dickey- Fuller	Contrachapado 9,5 mm	17,88199 (8,10533)***	-0,05248 (0,03017)**	0,13936 -0,10411	0,12149 -0,08185	-1,7396
	Contrachapado 18 mm	19,66734 (8,16407)***	-0,05937 (0,02906)***	0,12988 -0,08249	0,20861 (0,08050)	-2,0432
	MDP 15 mm	6,85584 (3,00596)***	-0,05307 (0,01940)***	0,09063 (0,03095)***	0,10282 -0,07315	-2,7352
	MDF 15 mm	25,61046 (7,98243)***	-0,10401 (0,02982)***	0,18672 (0,05275)***	0,07492 -0,07333	-3,4873**
Phillips-Perron	Contrachapado 9,5 mm	23,87172 -15,142	0,95806 (0,02934)***	0,10338 -0,10089		-7,1979***
	Contrachapado 18 mm	22,14849 -13,86864	0,95788 (0,02874)***	0,08044 -0,08132		-9,0398***
	MDP 15 mm	13,97683 (5,21585)***	0,95197 (0,01911)***	0,08329 (0,03034)***		-9,3104***
	MDF 15 mm	39,03878 (11,69950)***	0,90576 (0,02896)***	0,17006 (0,05119)***		-17,2729***

(Fuente: Elaboración propia)

Los niveles de significancia son: *, ** y ***, que corresponden a un 10%, 5% y 1%, respectivamente.

El valor en paréntesis es el error estándar.

El test ADF incluyó en la regresión la variable dependiente rezagada en un periodo.

De acuerdo a Phillips y Perron (1988) el término $a_0 = \tilde{\mu}$, $a_2 = \tilde{\beta}$, y $t = (t - \frac{T}{2})$ en el test PP.

Cuadro N°4
TEST KPSS

Series	H_0 : Serie Estacionaria
Contrachapado 9,5 mm	0,3384***
Contrachapado 18 mm	0,3022***
MDP 15 mm	1,1679***
MDF 15 mm	0,7875***

Los niveles de significancia son: *, ** y ***, que corresponden a un 10%, 5% y 1%, respectivamente.

Los valores críticos de significancia de R son similares a Kwiatkowski *et al.* (1992, tabla 1).

El test fue realizado con un rezago.

Los resultados de la utilización de la función auto.arima se muestran en el Cuadro N°6. Según éstos, excepto la serie de precios de los tableros MDP, todas las series debieran ser modeladas como un proceso ARIMA(0,1,0) con constante. Complementariamente se realizaron test de raíz unitaria estacionales, como CH y OCSB, los cuales rechazan la necesidad de alguna diferenciación, es decir $D = 0$. Esto lo verifica la función auto.arima internamente pero puede también ser verificado paso a paso con la función nsdiffs.

El análisis de la autocorrelación y la autocorrelación parcial, realizado de forma complementaria, no arroja indicios que las series puedan ser modeladas como modelos ARMA, de acuerdo a los patrones de selección de Enders (2015). A diferencia de las demás series de precios, la autocorrelación parcial en tableros MDF indica que se debe explorar un modelamiento con un término de error estacional, es decir $Q = 1$. Esto ya que la autocorrelación cae lentamente (sin oscilaciones) y la autocorrelación parcial no tiene sus primeros elementos significativos, pero si algunos retardos posteriores, lo cual indica que existe información que se podría modelar.

Cuadro N°5
TEST ZIVOT & ANDREWS PARA LAS SERIES DE PRECIOS DE TABLEROS

Series	T_B	μ	α	β	θ	γ	H_0
	Modelo general $y_t = \mu + \alpha y_{t-1} + \beta t + \theta DU_t(\lambda) + \gamma DT_t(\lambda) + e_t$						
Contrachapado 9,5 mm	25	0,5368 (0,1841)***	0,9039 (0,0330)***	0,0004 -0,0011	0,03785 (0,01829)***	-0,00002 -0,0011	-2,9108
Contrachapado 18 mm	25	0,5004 (0,1754)***	0,9127 (0,0311)***	-0,0004 -0,001	0,0389 (0,0166)***	0,00065 -0,001	-2,807
MDP 15 mm	82	0,5704 (0,1581)***	0,8904 (0,02978)***	0,00003 -0,0002	0,0541 (0,01612)***	0,00029 -0,0003	-3,6804
MDF 15 mm	44	0,9355 (0,2297)***	0,8406 (0,0387)***	-0,0014 (0,0006)***	0,0478 (0,0152)***	0,0021 (0,0007)***	-4,1165

Nota: T_B es el periodo en que ocurre el probable cambio estructural. El valor en paréntesis es el error estándar. Los niveles de significancia son: '*, **' y '***', que corresponden a un 10%, 5% y 1%, respectivamente.

Cuadro N°6
MODELOS SUGERIDOS POR AUTO.ARIMA

Serie	Proceso Automatizado (función auto.arima)		
	Modelo Elegido	BIC	Log > Likelihood
Contrachapado 9,5 mm	ARIMA (0,1,0) con constante	1399,83	-694,84
Contrachapado 18 mm	ARIMA (0,1,0) con constante	1363,03	-676,44
MDP 15 mm	ARIMA (0,1,0) con constante	1362,04	-675,8
MDF 15 mm	ARIMA (0,1,0)(0,0,1) ₁₂	1560,11	-774,84

En el siguiente cuadro se muestran las opciones seleccionadas por la función ets para el modelamiento de las series de acuerdo a métodos de suavizamiento exponencial. Como se observa, todas las series son modeladas sin tendencia y sin estacionalidad. Esto último, establece una consistencia con lo que ya el paquete *forecast* determinó anteriormente con la función auto.arima y lo verificado de forma complementaria. Por otra parte, las series de contrachapados tienen un error aditivo y las series de tableros MDP y MDF tienen un término de error multiplicativo.

Al igual que para el caso de los modelos ARIMA, se seleccionó el criterio BIC para la selección. Sin embargo, se debe señalar que esta última elección no tuvo efectos prácticos para ninguna de las selecciones realizadas con respecto a las series analizadas, lo cual confirma que se ha seleccionado la mejor alternativa posible. Todas las demás opciones son las que por defecto tiene el algoritmo de la función ets.

La selección realizada por ets indica que el mejor modelo posible para las series es uno que mantiene el valor presente como pronóstico para el siguiente periodo. Esto es conocido como el *naive method*, el cual es un caso extremo cuando $\alpha = 1$. Se debe tener presente que el algoritmo de ets reporta por defecto $\alpha = 0,9999$ en estos casos, no 1, ya que se ha restringido que este parámetro sea < 1 . Esto no es reportado en el material disponible de la función o el paquete. Por otra parte, se debe tener presente también que el modelamiento del error de forma multiplicativa o aditiva no tiene implicancias para la predicción de la variable, como ya se mencionó, solo afecta la amplitud del intervalo de confianza. En otras palabras, si el interés es solo conocer el punto de predicción sin su intervalo de confianza, un modelo ETS(A,N,N) o ETS(M,N,N) reportará los mismos resultados. Desde el punto de vista de modelamiento estos dos métodos son los más simples y los menos informativos. Una de las explicaciones posibles para la elección de estos modelos es que los datos tendrían una media a la cual regresan lentamente, lo cual justificaría la ausencia de tendencia. Adicionalmente, la estacionalidad está descartada por los test CH y OCSB.

Cuadro N°7
MODELOS SUGERIDOS POR ETS

Series	Proceso Automatizado (función ets)		
	Modelo Elegido	BIC	σ_ε
Contrachapado 9,5 mm	ETS(A,N,N)	1771,35	18,71
Contrachapado 18 mm	ETS(A,N,N)	1733,80	16,65
MDP 15 mm	ETS(M,N,N)	1796,51	0,04
MDF 15 mm	ETS(M,N,N)	1996,70	0,04

La optimización de modelos en ets se realiza a través del *log-likelihood* o por indicadores elaborados desde los errores, como MAE, MSE, AMSE o Sigma (desviación estándar de los errores). Por defecto, ets selecciona *log-likelihood*, opción utilizada en este caso. La selección de modelos solo se realiza en base a los criterios de información (AIC, AICc, BIC).

Es conveniente tener presente que los criterios de información calculados para los modelos ARIMA y ETS no son comparables. Adicionalmente, en el caso de los modelos ARIMA los criterios de información no son comparables para diferentes niveles de diferenciación (Hyndman y Khandakar, 2008). También pueden existir diferencias en los criterios de información para un mismo modelo en diferentes *software*, esto porque el condicionamiento en la función de verosimilitud puede ser distinto o se puede haber omitido o incluido una constante. Sin embargo, al utilizar el mismo *software* para todo el proceso de estimaciones estas observaciones no tienen efectos para la selección de modelos pero sí para la comparación.

Para medir la calidad del ajuste en el *forecasting out-of-sample* R ofrece la posibilidad de obtener medidas de precisión utilizando la función *accuracy*, entregando una gran variedad de indicadores ampliamente utilizados y discutidos en Hyndman y Koehler (2006). Según Hyndman y Koehler (2006) MASE (*Mean Absolute Scaled Error*) es preferible para comparar series en diferentes escalas o que tienen valores cercanos a cero o negativos; MAE (*Mean Absolute Error*) es más simple de interpretar cuando todas las series están en la misma escala, es menos sensible que otras medidas escala dependientes a la presencia de outlier y es útil cuando se analizan diferentes modelamientos para un mismo set de datos; y MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) es el mejor indicador cuando los valores de la series son positivos y para comparar el desempeño de las proyecciones utilizando diferentes conjuntos de datos. De acuerdo a estas conclusiones, todas estas medidas de precisión son idóneas para series de precios ($p \gg 0$) expresadas una misma moneda, pero se debe tener precaución en la comparación de resultados en base a datos expresados en términos nominales y reales. Esto no descarta el uso de otras medidas construidas en términos relativos, algo reportado en Hyndman y Koehler (2006).

Para el análisis es necesario considerar que MAE, MAPE y MASE son medidas donde las diferencias son consideradas en valor absoluto. Por otra parte, solo MAPE y MASE son escala dependientes, lo cual es importante cuando se trata de series de precios referidas a diferentes unidades de medida. Además, MASE se debe interpretar en torno a 1, es decir, un valor < 1 (> 1) indica que el modelo evaluado entrega, en promedio, un menor (mayor) error en comparación con el pronóstico basado en el *naive method*.

Según Montgomery *et al.* (2015) para revisar la calidad de los ajustes de los modelos se puede dividir la muestra en dos partes, una para realizar el ajuste y la otra para testear el desempeño del modelo elegido. Para ello se dividieron las series en dos partes: la primera incluyó aproximadamente el 90% de las primeras observaciones y la segunda quedó conformada por las últimas observaciones. De esta forma, la segunda submuestra para las series de precios de contrachapados está compuesta por las últimas 16 observaciones, mientras que para las series de MDP y MDF esta contiene 18 datos.

Utilizando la función *auto.arima* se ajustó un modelo automáticamente a los datos de la submuestra inicial (*in sample*) y luego se realizaron dos pasos paralelos. El primero fue utilizar dichos parámetros para ver el ajuste en los datos de la segunda submuestra (modelo "extendido").

El segundo paso fue obtener un *forecasting* para el periodo cubierto por la segunda submuestra (*out-of-sample*) desde el modelo ajustado automáticamente para los datos iniciales, y obtener medidas de ajuste a partir del análisis de las proyecciones *versus* los datos reales.

Se debe tener presente que el horizonte de tiempo utilizado en el análisis *out-of-sample* debe ser común para los análisis comparativos debido a que este afecta los resultados de las medidas de precisión.

Los resultados de los procedimientos antes mencionados, utilizando modelamiento tipo ARIMA y ETS, son reportados en los Cuadros N° 8 y 9. Todos los modelos de *forecasting* dentro de la muestra (*in sample*) tienen un MASE prácticamente igual a 1, lo cual está relacionado al tipo de modelos seleccionados y su relación con la base de comparación (*naive method*).

En el análisis comparativo del desempeño *out-of-sample* de los modelos ARIMA y ETS se aprecia que las proyecciones en base a los modelos de suavizamiento exponencial entregan una mayor precisión para las series de contrachapados, en cambio para MDF y MDP los modelos ARIMA tienen una mayor exactitud.

**Cuadro N°8
MEDIDAS DE AJUSTE MODELO ARIMA**

Serie	Modelo	Medidas de Ajuste		
		MAE	MAPE	MASE
Contrachapado 9,5 mm	Extendido	13,16	1,91	1,07
	<i>In sample</i>	11,99	2,54	0,98
	<i>Out-of-sample</i>	88,44	13,16	7,23
Contrachapado 18 mm	Extendido	11,66	1,88	1,07
	<i>In sample</i>	10,76	2,38	0,98
	<i>Out-of-sample</i>	77,79	12,83	7,10
MDP 15 mm	Extendido	20,43	3,78	0,97
	<i>In sample</i>	8,87	2,34	0,99
	<i>Out-of-sample</i>	36,94	6,99	4,12
MDF 15 mm	Extendido	9,42	2,48	0,94
	<i>In sample</i>	6,05	2,40	0,99
	<i>Out-of-sample</i>	22,67	5,84	3,70

Cuadro N°9
MEDIDAS DE AJUSTE MODELO ETS

Serie	Modelo	Medidas de Ajuste		
		MAE	MAPE	MASE
Contrachapado 9,5 mm	Extendido	11,56	1,68	0,94
	<i>In sample</i>	12,19	2,59	1,00
	<i>Out-of-sample</i>	60,63	9,01	4,96
Contrachapado 18 mm	Extendido	10,27	1,65	0,94
	<i>In sample</i>	10,88	2,40	0,99
	<i>Out-of-sample</i>	54,38	8,96	4,97
MDP 15 mm	Extendido	20,11	3,71	0,95
	<i>In sample</i>	8,91	2,35	0,99
	<i>Out-of-sample</i>	39,94	7,45	4,46
MDF 15 mm	Extendido	9,47	2,49	0,95
	<i>In sample</i>	6,10	2,41	0,99
	<i>Out-of-sample</i>	29,39	7,59	4,79

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Ambos tipos de modelamiento, ARIMA y métodos de suavizamiento exponencial, son buenas alternativas y se complementan para la realización de *forecasting*. Sin embargo, la utilización de los modelos de suavizamiento exponencial requiere verificar que las series no sean estacionarias, lo cual implica que el usuario debe tener conocimientos necesarios respecto de los test y el uso de un *software* estadístico. Adicionalmente, el usuario debe estar en condiciones de conducir una revisión inicial de las series a fin de descartar la presencia de datos faltantes y *outlier* en R u otro *software*. Esto se debe a que las herramientas automatizadas del paquete *forecast* no tienen un control sobre tales situaciones.

Un hecho relevante para el manejo de R es que no existen *outputs* estandarizados para los test citados. Esto conlleva que se deban revisar todas las alternativas existentes en los diferentes paquetes para un mismo test, a fin de conocer las diferencias. Por otra parte, existen aparentemente tests que están disponibles en diferentes paquetes del *software*, pero que solo se diferencian en el *output*, debido a que el test se corre en un solo paquete, cosa que muchas veces los autores no mencionan en el documento disponible para el paquete respectivo o test. Los problemas más comunes son la falta de los valores críticos correspondientes y/o la indicación del nivel de significancia y la omisión de los parámetros con su error estándar y/o el nivel de significancia.

Al margen de los resultados específicos obtenidos para las series bajo análisis, las herramientas automatizadas entregan una rápida respuesta al modelamiento de las series, con un procedimiento que entrega algunas flexibilidades para el usuario. Por ejemplo, el usuario puede fijar ciertos valores de parámetros, elegir el horizonte de tiempo, elegir el criterio de información para la selección de modelos y reutilizar los parámetros estimados y aplicarlos a nuevos datos. Por otra parte, los *outputs* entregan información sobre los criterios de información, los resultados de varias medidas de precisión basadas en los errores, los puntos de estimación, los intervalos de confianza y la opción de graficar de forma complementaria las proyecciones y las desviaciones correspondientes a los niveles de confianza.

Por último, queda de manifiesto que el uso de las herramientas automatizadas de R, tanto para el modelamiento como para *forecasting*, requieren de un nivel intermedio de conocimiento en series de tiempo. Además, es necesario que el usuario tenga conocimientos intermedios en R, al menos suficientes para realizar e interpretar test estadísticos y escribir instrucciones simples.

REFERENCIAS

- Enders, W., 2015.** Applied Econometric Time Series (Fourth Edition). US: Wiley.
- Hyndman, R. J., 2014.** Forecasting: Principles & Practice. University of Western Australia.
- Hyndman, R. J. and Billah, B., 2003.** Unmasking the Theta Method. International Journal of Forecasting, vol. 19, pp. 287-290.
- Hyndman, R. J. and Koehler, A. B., 2006.** Another Look at Measures of Forecast Accuracy. International Journal of Forecasting, vol. 22, pp. 679-688.
- Hyndman, R. J. and Khandakar, Y., 2008.** Automatic Time Series Forecasting: The Forecast Package for R. Journal of Statistical Software, vol. 27 (3), pp. 1-22.
- Hyndman, R. J.; Akram, M. and Archibald, B. C., 2008.** The Admissible Parameter Space for Exponential Smoothing Models. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 407-426.
- Hyndman, R. J.; Koehler, A. B.; Snyder, R. D. and Grose, S., 2002.** A State Space Framework for Automatic Forecasting Using Exponential Smoothing Methods. International Journal of Forecasting, vol 18, pp 439-454.
- Koning, A. J.; Franses, P. H.; Hibon, M. and Stekler, H. O., 2005.** The M3 Competition: Statistical Test of the Results. International Journal of Forecasting, vol. 21, pp. 397-409.
- Küsters, U.; McCullough, B. and Bell, M., 2006.** Forecasting Software: Past, Present and Future. International Journal of Forecasting, vol. 22, pp. 599-615.
- Kwiatkowski, D.; Phillips, P. C.; Schmidt, P. and Shin, Y., 1992.** Testing the Null Hypothesis of Stationarity Against the Alternative of a Unit Root. Journal of Econometrics, vol. 54, pp. 159-178.
- Montgomery, D. C.; Jennings, C. L. and Kulahci, M., 2015.** Introduction to Time Series Analysis and Forecasting (Second Edition). US: Wiley.
- Phillips, P. C. and Perron, P., 1988.** Testing for a Unit Root in Time Series Regression. Biometrika, vol. 75(2), pp.335-346.
- Poler, R. and Mula, J., 2011.** Forecasting Model Selection Through Out-of-sample Rolling Horizon Weighted Errors. Expert Systems with Applications, vol 38, pp. 14.778-14.785.
- Taylor, J. W., 2003.** Exponential Smoothing with a Damped Multiplicative Trend. International Journal of Forecasting, vol. 19, pp. 715-725.
- Zivot, E. and Andrews, D. W., 1992.** Further Evidence on the Great Crash, the Oil-price shock, and the Unit-root Hypothesis. Journal of Business & Economic Statistics, vol. 10 (3), pp. 251-270.

ESTUDIO DE LA HUMECTABILIDAD Y EL EFECTO DE DOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES EN LA ADHESIÓN ENTRE UN MATERIAL COMPUESTO FIBRA DE CORTEZA/HDPE Y MADERA SÓLIDA DE *Eucalyptus nitens*

Muñoz, Freddy^{2,3}; Ballerini, Aldo⁴ y Gacitúa, William³

RESUMEN

La industria forestal y maderera son actividades importantes en la economía actual de Chile, en particular la industrialización del *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) es una alternativa que se proyecta en años recientes debido a sus buenas características, como resistencia a climas fríos y alta tasa de crecimiento anual que la han convertido en una especie apta para la reforestación, principalmente como materia prima pulpable.

Productores e industriales de esta especie quieren dar atención, no solo a la elaboración de pulpa, sino también, al desarrollo de un modelo silvícola que permita producir trozas de calidad para obtener madera sólida y productos de mayor valor agregado. Para la utilización industrial de esta especie se requiere un proceso inicial de descortezado. Generalmente, por la falta o poca información sobre las características de este subproducto forestal, la corteza muchas veces es solo usada para producir energía o es dejada en el bosque luego del aprovechamiento forestal. Sobre este escenario, esta propuesta va orientada a diseñar un nuevo producto de ingeniería utilizando como materia prima la fibra de corteza y madera sólida procedente de una plantación con raleo ubicada en la región del Bio Bio.

El objetivo de esta investigación es estudiar la humectabilidad y el efecto de dos tratamientos superficiales sobre el material compuesto de fibra de corteza/HDPE (polietileno de alta densidad) para mejorar la adhesión entre este y madera sólida de *E. nitens*. Para conformar un material híbrido como elemento constructivo.

Los tratamientos superficiales de flameado y químico aumentaron la resistencia a la cizalladura por tracción respecto del material control, para el caso del material híbrido madera+C2 la resistencia mecánica aumentó un 30 y 35%, respectivamente. Mientras que para el material híbrido madera+C4 aumentó un 7 y 5%. Ambos tratamientos superficiales también disminuyeron el porcentaje de falla por adhesivo ya que por procesos de oxidación en la superficie de contacto del material compuesto (C2 y C4) aumentó la humectabilidad, disminuyó el ángulo de contacto (Θ), incrementado la adhesión entre sustratos respecto de la muestra control.

Estos resultados prometedores en términos de: la humectabilidad, tratamientos superficiales y propiedades mecánicas del material híbrido permiten, proponer el uso de un nuevo material como elemento constructivo alternativo en estructuras de puertas y ventanas con aplicación simultánea en ambiente interior y exterior; combinando las propiedades de ambos materiales por una parte, estética, trabajabilidad, y disponibilidad de la madera, y por otra características del compuesto termoplástico reforzado con fibra de corteza tales como, estabilidad dimensional, resistencia a la humedad y densidad, entre otras.

Palabras clave: *Eucalyptus nitens*, corteza, fibra, HDPE, material compuesto, tratamientos superficiales

² Profesor adjunto, M. Sc. Escuela de Ingeniería Forestal. Tecnológico de Costa Rica, Cartago-COSTA RICA.

³ Dr. (c). Programa doctorado en Ciencias e Industrias de la Madera. Facultad de Ingeniería. Depto. Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio Bio, Concepción-Chile fmunozac@alumnos.ubiobio.cl

⁴ Profesor asociado, Ph. D. Facultad de Ingeniería. Depto. Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio Bio, Concepción-Chile.

SUMMARY

The forest and timber industry are important activities in the current Chilean economy, particularly the *Eucalyptus nitens* industrialization is an alternative that is projected in recent years, due to its good characteristics, such as resistance to cold climates and high annual growth rate, the species is nowadays a suitable one for afforestation programs, mainly to pulpwood production.

Moreover, producers and manufacturers of the species are changing their attention, not only to the production of pulpwood, but also to develop forestry model to produce quality logs for solid wood and higher value-added products. The industrial use of the species requires an initial debarking process. Because of the lack or short information about the features of this product the bark is often used for energy or leaved in the forest after the harvest. Under this scenario, this proposal is aimed to design a new engineered product using bark fibers as raw material and solid wood from a thinned plantation located at the Bio Bio region.

The objective is the study of the wetting process effect and two surface treatments over a bark-plastic compound / HDPE (high density polyethylene) for improving the adhesion between this material and *E. nitens* solid wood to produce a hybrid element for building purposes.

Flame and chemical surface treatments increased the material shear strength by tension respect to control sample. In the case of hybrid material wood+C2 the mechanical strength increased by 30 and 35%. Respectively, while the material wood+C4 increased by 5 y 7%. Both surface treatments also decreased the failure percentage by adhesive, due to a superficial oxidation process on composites C2 and C4, increased wettability, decreased contact angle (Θ), and increased the adhesion between substrates respect to control samples.

These promising results in terms of: wettability, surface treatments and hybrid material mechanical properties, allow to propose the use of a new hybrid material as a building alternative structures, as doors and windows structures, with simultaneous application in indoor and outdoor environment, combining properties of both materials related to aesthetic, workability and wood availability and also advantages of the bark plastic composite, such as dimensional stability, moisture resistance, density and others.

Key words: *Eucalyptus nitens*, bark, fiber, HDPE, composite material, surface treatment

INTRODUCCIÓN

La industria forestal y maderera son actividades importantes para la economía actual de Chile, en particular la industrialización del *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) es una alternativa que se proyecta en años recientes dadas sus buenas características, como resistencia a climas fríos y alta tasa de crecimiento que la han convertido en una especie apta para la forestación, principalmente como materia prima pulpable.

Existen actualmente en el país 168 mil hectáreas plantadas con *Eucalyptus nitens*, concentradas entre las regiones del Bio Bio y Los Lagos (INFOR 2008, INFOR 2010), siendo así la tercera especie más plantada en el país (López, 2006). Estadísticas forestales de INFOR (2008) reportan que la región del Bio Bio consume aproximadamente 3 millones de metros cúbico de madera en trozo por año de *E. nitens*. Geldres *et al.* (2006) consideran que el volumen promedio de la corteza de un árbol de *E. nitens*, con edad entre 4-7 años, representa un 9.3 % del volumen total del árbol lo que significa un volumen aproximado de 279.000 m³ de corteza al año potencialmente disponible como materia prima.

Diferentes industrias de la madera, como aserraderos, plantas de tableros, de pulpaje y papel, de tratamiento de postes, requieren el proceso de descortezado (Grobbelaar y Mayuchi, 2000). Dada la escasa información sobre las características y la calidad de este subproducto forestal, la corteza muchas veces es solo usada para producir energía o es dejada en el bosque luego del aprovechamiento forestal. En este escenario, Velásquez (2006) propuso una valoración global y clasificación del residuo que podría ser utilizado como fuente de energía y una redefinición del residuo que podría ser reutilizable para que otras industrias lo transformen en productos de ingeniería con mayor valor agregado.

Investigaciones actuales en el área de la ingeniería de materiales van orientadas a explorar nuevas fibras naturales como refuerzo de matrices termoplásticas para el desarrollo de nuevos materiales y aplicaciones (Taj *et al.*, 2007; Nabi y Jog, 1999; Suresh *et al.*, 2009). En el caso particular de Chile, Ballerini *et al.* (2008), exponen que la investigación y desarrollo de materiales compuestos a base de fibra natural y plástico se ha venido realizando en los últimos años, sin embargo han sido estudios parciales y en algunos casos con limitaciones tecnológicas. La región del Bio Bio es una de las regiones más críticas en Chile en términos climáticos, con altos índices de viento y lluvia cada año. Productos como puertas, marcos para ventana y revestimientos, disponibles en el mercado nacional chileno, están relacionados principalmente con problemas de estabilidad dimensional (en el caso de productos de madera), y el bajo rendimiento en términos de resistencia a la humedad y hermeticidad, asociado al tipo de material y diseño del elemento, lo que puede generar altos costos de mantenimiento (Ballerini *et al.*, 2008).

Fibras naturales procedentes de fuentes forestales y renovables, como las de la madera y la corteza, usadas como refuerzo de matrices termoplásticas han dado buenos resultados, así lo demuestran los trabajos de Sewda y Maiti (2007), Bouafif *et al.* (2009), Yemele *et al.* (2010) y Saini *et al.* (2010) con fibra de corteza, y los de Harper y Wolcott (2004), Migneault *et al.* (2008), Sewda y Maiti (2009) y Gacitúa y Wolcott (2009) con fibras de madera. Un aspecto que se debe estudiar en los materiales compuestos es la zona de transición entre adhesivo y el adherendo en una unión adhesiva, es decir la interfase (Sharpe, 1972), ya que es la zona en donde se puede explicar el fenómeno de la adhesión y es donde las propiedades del sustrato y adherendo se combinan para otorgar las propiedades al material compuesto (Gardner, 2006, Jacob *et al.*, 2008, Frihart y Hunt, 2010). Además, de acuerdo a Brewis y Briggs (1981) la adhesión a polietileno es compleja y requiere entender las características adhesivas de este polímero.

Productores e industriales de la especie quieren dar atención no solo a la elaboración de pulpa, sino también al desarrollo de un modelo silvícola que permita producir trozas de calidad para obtener madera sólida de *E. nitens* y productos de mayor valor agregado (Vásquez, 2005). El objetivo es estudiar la humectabilidad y el efecto de dos tratamientos superficiales sobre el material compuesto de fibra de corteza/HDPE, para mejorar la adhesión entre este y madera sólida de *E. nitens*, para conformar un material híbrido como elemento constructivo.

METODOLOGÍA

Sitio de Muestreo y Preparación de la Fibra de Corteza

El sitio de muestreo fue en la Hacienda Rucamanqui que pertenece a la empresa Forestal Mininco y que está ubicada en la comuna de Yungay (37° 12' LS y 71° 54' LO) región del Bio Bio, Chile. La plantación tiene manejo silvicultural con raleo, está sobre suelo trumao y la edad de los árboles de *E. nitens* fue de 14 años. Se cortaron 31 árboles y se aprovechó la corteza a diferentes alturas (3, 6, 9 y 12 m). La corteza fue secada a estufa a un contenido de humedad promedio de 10,8 %. La corteza a las diferentes alturas fue mezclada y procesada en un molino de cuchillas Ming Lee, con placa clasificadora de aproximadamente 20 mesh y perforaciones de 4 mm de diámetro, luego fue re-molida en el mismo molino, pero usando esta vez una placa clasificadora de 20 mesh con perforaciones de 1,5 mm de diámetro para aumentar los porcentajes de cantidad de partícula de tamaño 60 y 100 mesh, requeridos para el proceso de extrusión (Yemele *et al.*, 2010). El proceso de clasificación del tamaño de fibra se realizó con un tamiz de torre oscilatorio.

Material Compuesto Vía Extrusión

Después del proceso de molido la corteza fue secada en estufa a un contenido de humedad no mayor al 4%. Se prepararon cargas (*batch*) de 5 kg para cada una de las cuatro formulaciones (Cuadro N° 1). Previo al proceso de extrusión, cada carga fue pre-mezclada por 2 h en un mezclador a 110°C. Luego en una extrusora Milacron TC-35 de doble tornillo cónico co-rotativo, se obtuvo un perfil rectangular extruido de 5x50 mm. Las condiciones del proceso de extrusión, fueron las siguientes: temperatura del barril 170 °C, temperatura salida cabezal 180 °C, velocidad tornillo 4/min, torque 38 Nm.

El tamaño de fibra usado fue 60 y 100 mesh en porcentaje de proporción peso/peso de 50/50%. Las proporciones 70/30% y 60/40%, corresponden al porcentaje peso/peso entre termoplástico/fibra. El termoplástico usado fue HDPE F00952 provisto por Saudí Basic Industries Corp., en forma de pellet con índice de fusión 0,05 g/10 min y densidad 950 kg/m³. Los aditivos usados fueron Struktol TPW 104 (lubricante) y Licocene PE MA grafitado 4351 TP (agente acoplante) provistos por Clariant Colorquímica Ltda.

Cuadro N° 1
FORMULACIONES DEL MATERIAL COMPUESTO HDPE/FIBRA CORTEZA

Compuesto	Proporción 70/30 HDPE/fibra		Carga Agente Acoplante* (%)	Carga Agente Lubricante* (%)	Total Batch (kg)
	HDPE (kg)	Fibra Seca (kg)			
C2	3,50	1,50	5,00	2,50	5,00
Compuesto	Proporción 60/40 HDPE/fibra		Carga Agente Acoplante* (%)	Carga Agente Lubricante* (%)	Total Batch (kg)
	HDPE (kg)	Fibra Seca (kg)			
C4	3,00	2,00	5,00	2,50	5,00

*Sobre peso seco fibra de corteza

Tratamiento Superficial al Material Compuesto y Ángulo de Contacto (humectabilidad)

Se usaron dos tratamientos para mejorar la adhesión superficial del material compuesto fibra de corteza/HDPE. El tratamiento químico para poliolefinas tipo HDPE se realizó bajo la norma ASTM (2003). El tratamiento por flameado de acuerdo a Gupta (2006), y además se consideró una muestra control de cada tipo de material compuesto

La evaluación de los tratamientos superficiales se realizó midiendo el ángulo de contacto (Θ), según el método de la gota sésil considerado el más adecuado para este tipo investigaciones (Scheikl y Dunky, 1998; De Meijer *et al.*, 2000; Gindl *et al.*, 2001; Gindl y Tschegg, 2002). Se midió el ángulo de contacto (Θ) al control y material compuesto con tratamiento por flameado hasta los

15 minutos (fotos cada 3 min) y para el tratamiento químico hasta los 3 minutos (fotos cada 30 s).

Las fotografías fueron capturadas con una video cámara Panasonic HDC-TM60 full HD. Luego las 93 fotografías capturadas fueron analizadas con el software Image Pro-Plus® v.6.2 para determinar la altura (H) y diámetro (d) de la gota de agua (Figura N° 1). El ángulo de contacto en grados se calculó con la ecuación (1). Una proyección del ángulo de contacto en el tiempo, en cada caso estudiado, se realizó con una regresión lineal (Figura N° 2)

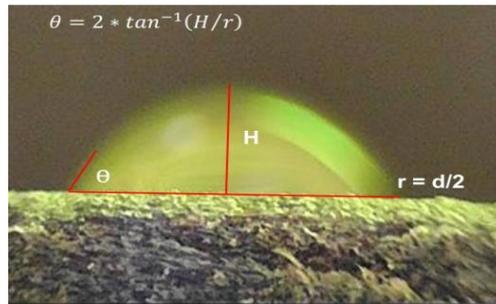


Figura N° 1
ÁNGULO DE CONTACTO (θ) ENTRE ADHIERENDO (GOTA DE AGUA APROX. 7μL) Y MATERIAL COMPUESTO (SUSTRATO)

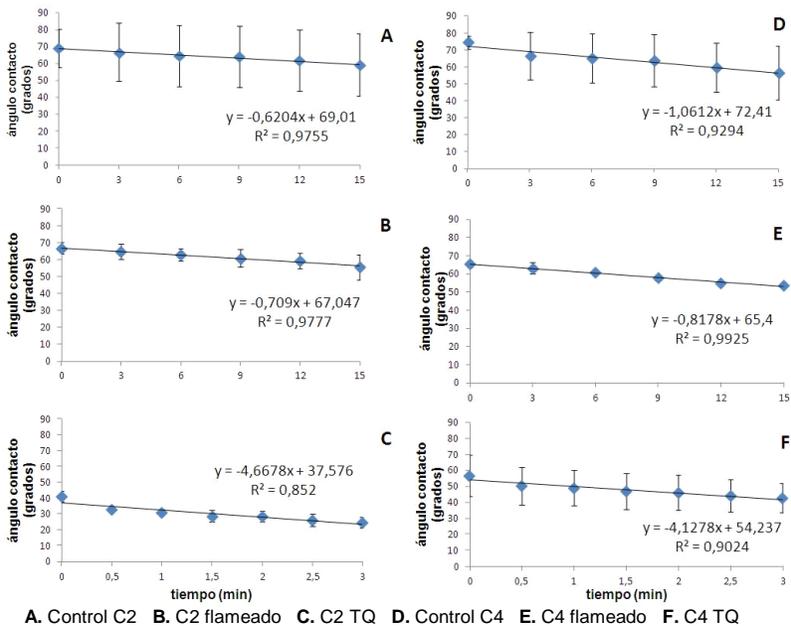


Figura N° 2
REGRESIONES LINEALES PARA ESTIMAR ÁNGULO DE CONTACTO (HUMECTABILIDAD) EN EL TIEMPO DE LAS SUPERFICIES TRATADAS DESPUÉS DE 3 Y 15 min.

La finalidad de los tratamientos es aumentar la energía superficial (sólido) del material compuesto en donde predomina el termoplástico HDPE y supera la tensión superficial (líquido) del adhesivo, y aumentar la humectabilidad de la superficie del material y tener una mejor adhesión con la superficie de la madera. El líquido de prueba para medir la humectabilidad en la superficie de contacto del material compuesto tratado y el control fue agua desionizada. En el Cuadro N° 2 se muestran algunas características.

Cuadro N° 2
TENSIÓN SUPERFICIAL Y COMPONENTES DISPERSA Y POLAR DEL LÍQUIDO DE PRUEBA

Tipo de Disolvente	Y_{LV} (mJ/m ²)	Y_{LV}^d (mJ/m ²)	Y_{LV}^p (mJ/m ²)	Referencia
Agua	72,8	21,8	51,0	Vásquez <i>et al.</i> (2011)

Energía libre superficial del líquido (Y_{LV}), Y_{LV}^d y Y_{LV}^p son las componentes dispersa y polar del líquido

Unión Adhesiva Tipo Junta Traslapada

Para medir la adhesión y efecto de los tratamientos se realizó un ensayo para determinar la resistencia al cizalle por tracción de juntas traslapadas en una máquina de ensayos Zwick/Roell Z20. El material híbrido se construyó con una junta traslapada entre madera sólida de *E. nitens* y material compuesto con tratamiento superficial uniendo dos láminas de 4 mm con adhesivo tipo poliuretano Purbond HB S209 de 160 g/m² con proceso de prensado por 1 h, presión 30-50 bar, temperatura 18.6 °C y HR 48.7%. Para determinar la resistencia al cizalle por tracción se usó la norma UNE-EN (2003).

Diseño experimental

Con un diseño factorial general de un solo factor (tratamiento) con 6 niveles y comparación de medias con el método LSD (diferencia mínima significativa) se evaluó el efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de falla por sustrato y la resistencia al cizalle por tracción de juntas traslapadas, el análisis se realizó con el software estadístico Design Expert® v. 7.0.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura N° 3 se muestra una comparación de la humectabilidad y cambio del ángulo de contacto (Θ) entre el material híbrido control y los materiales híbridos madera+C2 y madera+C4 después de los tratamientos superficiales de flameado y químico.

De acuerdo a Nussbaum (1999) el proceso de mojado (variación del ángulo de contacto) en el material compuesto se puede dividir en dos fases; una fase de extensión, en la que el diámetro de la gota aumenta haciendo que el líquido humecte la superficie del sólido, y una etapa de penetración, en la cual la velocidad de cambio del ángulo de contacto es aproximadamente constante. En la Figura N° 3 se observa que la velocidad de humectación es más evidente cuando la superficie de contacto del material compuesto fue tratada con el proceso químico, pues el tiempo de humectación decreció respecto del control y el tratamiento por flameado.

El tratamiento químico es más eficiente que el tratamiento por flameado, dado que el tratamiento químico con dicromato de potasio y ácido sulfúrico produce una alteración química a las capas superficiales del polímero mejorando las características de adhesión, una evidencia de esto es que el tratamiento químico funcionó mejor cuando existe mayor porcentaje de polietileno (HDPE) en el material compuesto tal como se muestra en el ensayo TQC2 comparado con el ensayo TQC4 (Figura N° 3).

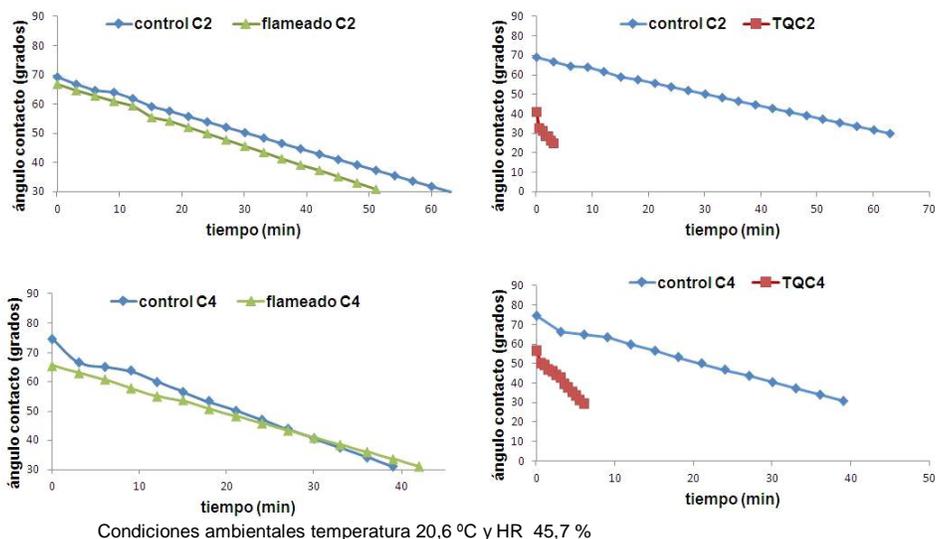


Figura N° 3
ÁNGULOS DE CONTACTO (HUMECTABILIDAD) DETERMINADOS PARA CONTROLES Y MATERIALES COMPUESTOS C2 Y C4 CON TRATAMIENTO POR FLAMEADO Y TRATAMIENTO QUÍMICO (TQ)

La aplicación de una llama directa (flameado) sobre la superficie promueve el nivel de energía libre del polímero. La flama del gas oxida la capa superficial donde los átomos de hidrógeno enlazados a los átomos de carbono de la cadena principal del polímero son reemplazados por átomos activos de oxígeno, creando una polaridad superficial en el polímero (Moghaddam y Mirhabibi, 2004).

El ANOVA indicó, con un nivel de confianza $\alpha = 0.05$, que el tipo de tratamiento es significativo para el porcentaje de falla por sustrato ($P = < 0.0001$), mientras que para la resistencia al cizalle por tracción no tiene efecto significativo ($P = 0.075$).

Sin embargo, el método LSD detectó diferencias mínimas significativas entre las magnitudes del valor de resistencia al cizalle respecto al control, al menos para el caso madera+C2. Lo que concuerda con los resultados obtenidos donde la magnitud de la resistencia al cizalle es mayor cuando está presente el tratamiento superficial respecto al tratamiento control (Cuadro N° 3).

Caso similar sucede con el porcentaje de falla por sustrato donde todas las probetas control fallaron por adhesivo, indicando que la adhesión entre sustratos es menos resistente mecánicamente (Figura N° 4A).

El incremento de la humectabilidad o disminución del ángulo de contacto (Θ) que producen ambos tratamientos superficiales (flameado y químico) se traduce en una mejor adhesión entre los sustratos (Figuras N° 3 y N° 4).

En el Cuadro N° 3 se muestra la resistencia promedio al cizalle por tracción para juntas traslapadas entre madera sólida de *E. nitens* y material compuesto con tratamiento superficial.

En la Figura N° 4 se muestran los tipos de falla obtenidos luego del ensayo de cizalle por tracción para juntas traslapadas entre madera sólida de *E. nitens* y material compuesto con tratamiento superficial.

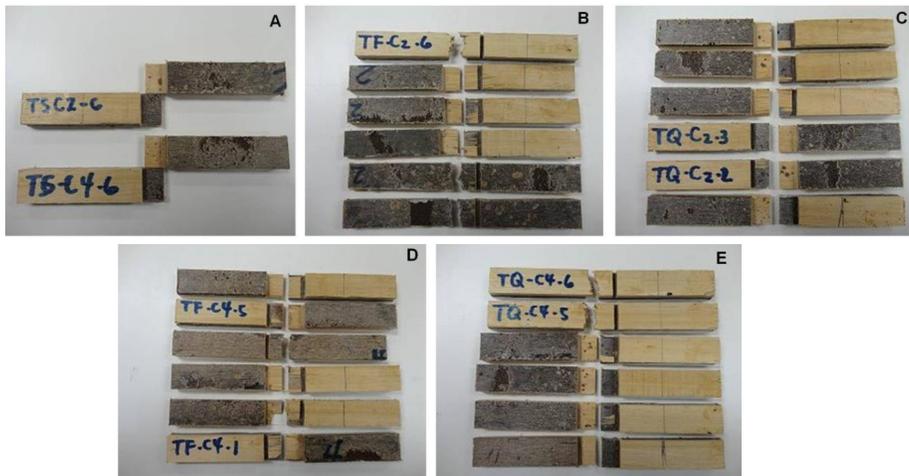
Cuadro N° 3
RESISTENCIA PROMEDIO AL CIZALLE POR TRACCIÓN PARA JUNTAS TRASLAPADAS
ENTRE MADERA SÓLIDA Y MATERIAL COMPUESTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Tipo material	Tratamiento	Resistencia Promedio Cizalladura por Tracción (N/mm ²)	DE	CV (%)	Promedio Falla por Sustrato (%)
Madera+C2	Control	3.95 ^A	0.39	9.80	0 ^A
	Flameado	5.66 ^B	1.24	21.83	80 ^B
	TQ	6.12 ^B	0.27	4.38	30 ^C
Madera+C4	Control	4.67 ^A	0.31	6.62	0 ^A
	Flameado	5.01 ^A	0.76	15.08	100 ^B
	TQ	4.93 ^A	0.95	19.23	42 ^C

Letra diferente indica diferencia mínima significativa por método LSD

DE: Desviación Estándar

CV: Coeficiente de Variación



A: 100% falla por adhesivo

B, C, D y E: Falla por sustrato (madera o material compuesto), no hay falla por adhesivo

Figura N° 4
TIPO DE FALLA LUEGO DE ENSAYO DE CIZALLE POR TRACCIÓN

Los tratamientos superficiales de flameado y químico aumentaron la resistencia al cizalle por tracción respecto del material control, para el caso del material híbrido madera+C2 la resistencia mecánica aumentó un 30 y 35%, respectivamente. Mientras que para el material híbrido madera+C4 aumentó un 7 y 5%. La diferencia entre ambos materiales es el porcentaje de HDPE que se encuentra dentro del material compuesto (Cuadro N° 1), por lo que se presume que el proceso de oxidación (activación de superficie) se produjo en proporción a la cantidad de polímero HDPE.

Ambos tratamientos superficiales también disminuyeron el porcentaje de falla por adhesivo, ya que, por procesos de oxidación en la superficie de contacto del material compuesto (C2 y C4), aumentó la humectabilidad y disminuyó el ángulo de contacto mejorando la adhesión respecto a la muestra control.

Similares resultados fueron obtenidos por Gramlich *et al.* (2006) en cuanto al comportamiento del tipo de falla obtenido luego de realizado el ensayo de cizalle por tracción, sin embargo, Gramlich *et al.* (2006) reportan un mejor porcentaje de incremento en la resistencia al cizalle con un tratamiento por flameado respecto a los resultados de este estudio, esto puede deberse a la diferencia del gas utilizado para el proceso de flameado, en este trabajo se usó una mezcla de gas butano/propano en una proporción de 95/5%, mientras que en el trabajo citado usaron solo gas propano.

CONCLUSIONES

Ambos tratamientos superficiales incrementan la humectabilidad (disminuye ángulo de contacto) de la superficie de contacto del material compuesto, la disposición de grupos funcionales (procesos de oxidación), y la magnitud de la resistencia al cizalle por tracción, y disminuyen significativamente el porcentaje de falla por adhesivo, mejorando la adhesión entre sustratos respecto del material control.

El tratamiento superficial por flameado y químico aumentó la resistencia al cizalle por tracción respecto del material control. Para el caso del material híbrido madera+C2 la resistencia mecánica aumentó un 30 y 35%, respectivamente. Mientras que para el material híbrido madera+C4 aumentó un 7 y 5%, respectivamente.

El efecto significativo del tratamiento superficial por flameado y químico sobre la adhesión, aumentó el porcentaje de falla por sustrato evidencia de una mejor adhesión, ya que, tanto el material híbrido madera+C2 y madera+C4 disminuyeron su proporción de falla por adhesivo respecto del material control.

Estos prometedores resultados en la humectabilidad, tratamientos superficiales y propiedades mecánicas del material híbrido, permiten proponer el uso de un nuevo material como elemento constructivo alternativo en estructuras de puertas y ventanas con aplicación simultánea en ambiente interior y exterior; combinando las propiedades de ambos materiales por una parte, estética, trabajabilidad, y disponibilidad de la madera, y por otra características del compuesto termoplástico reforzado con fibra de corteza tales como, estabilidad dimensional, resistencia a la humedad, densidad, entre otras.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Biomateriales & Nanotecnología (CBN), al Laboratorio de Adhesivos, al Laboratorio de Diseño y Tecnología de la Madera y al Centro de Investigación en Polímeros Avanzados (CONICYT REGIONAL/CIPA/R08C1002), por el apoyo logístico y de equipos. Agradecen también a Forestal Mininco por facilitar el material de estudio. Al Tecnológico de Costa Rica (TEC), a la Organización de los Estados Americanos (OEA) y al programa de doctorado en Ciencias e Industrias de la Madera del DIMAD/UBB, por el apoyo económico de becas.

REFERENCIAS

ASTM, 2003. Standard practice for preparation of surfaces of plastics prior to adhesive bonding. Vol 15.06. Adhesives. American Society for Testing and Materials ASTM D 2093-03. Philadelphia, US. 3pp

Ballerini, A.; Bustos, X.; Ramos, M. and Wechsler, A., 2008. Innovation in window and door profile designs using a wood-plastic composite. In: Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology. Paper SW-05. Concepción-Chile. 9p. Consultado el 07 Marzo, 2011. En línea: <http://www.swst.org/meetings/AM08/proceedings/WS-05.pdf>

Bouafif, H.; Koubaa, H.; Perré, P. and Cloutier, A., 2009. Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40(12): 1975-1981

- Brewis, D. and Briggs, D., 1981.** Adhesion to polyethylene and polypropylene. *Polymer* 22(1): 7-16
- de Meijer, M.; Haemers, S.; Cobben, W. and Militz, H., 2000.** Surface energy determinations of wood: comparison of methods and wood species. *Langmuir* 16: 9352-9359
- Frihart, C. and Hunt, C., 2010.** Adhesives with wood materials bond formation and performance. Chapter 10. In: *Wood Handbook—Wood as an engineering material*. Centennial edition. Robert J. Ross Editor. General Technical Report. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 1-24
- Gacitúa, W. and Wolcott, M., 2009.** Morphology of wood species affecting wood-thermoplastics interactions: Microstructure and mechanical adhesion. *Maderas Ciencia y Tecnología* 11(3): 217-231
- Gardner, D., 2006.** Adhesion mechanisms of durable wood adhesive bonds. Chapter 19. In: *Characterization of the Cellulosic Cell Wall*. Douglas Stokke, Leslie Groom, Eds. Blackwell Publishing: Ames IOWA: 254-265
- Geldres, E.; Gerding, V. y Schlatter, J., 2006.** Volumen de *Eucalyptus nitens* de 4-7 años de edad en un rodal de la X Región, Chile. *Bosque* 27(3): 223-230
- Gindl, M.; Sinn, G.; Reiterer, A. and Tschegg, S., 2001.** Wood surface energy and time dependence of wettability: A comparison of different wood surfaces using an acid-base approach. *Holzforschung* 55: 433-440
- Gindl, M. and Tschegg, S., 2002.** Significance of the acidity of wood to the surface free energy components of different wood species. *Langmuir* 18: 3209-3212
- Gramlich, W.; Gardner, D. and Neivant, D., 2006.** Surface treatments of wood-plastic composites (WPC) to improve adhesion. *Journal of Adhesion Science and Technology* 20(16): 1873-1887
- Grobbelaar, F., Manyuchi, K. 2000.** Eucalypt debarking: an international overview with a Southern African perspective. *Forest Engineering Southern Africa (FESA)* 68 p. Disponible en <http://www.yourday2day.com/site2/icfrfiles/publication/FESA/Eucalypt%20debarking.PDF> Sitio web visitado el 28 Septiembre 2011
- Gupta, B., 2006.** Development of a coating technology for wood plastics composites. Thesis Master of Science in Materials Science and Engineering. School of Mechanical and Engineering Materials. Washington State University. Pullman WA-USA 130 p
- Harper, D. and Wolcott, M., 2004.** Interaction between coupling agent and lubricants in wood-polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 35(3): 385-394
- INFOR, 2008.** Series y Estadísticas. Instituto Forestal (INFOR). Disponible en <http://www.infor.cl/es/series-y-estadisticas.html> Sitio web visitado el 05 Septiembre 2010
- INFOR. 2010.** Anuario forestal. *Boletín Estadístico* Nº 128, 134 p
- Jacob, M.; Anandjiwala, R. and Thomas, S., 2008.** Characterization of interfaces in composites using micro-mechanical techniques. Chapter 20. Part IV Vinyl polymer technology. In: *Handbook of Vinyl Polymers: Radical Polymerization, Process and Technology*. 2nd edition. Mumaya Mishra and Yusuf Yagci eds. 689-716
- López, C., 2006.** *Eucalyptus nitens*: Una alternativa que se proyecta. *Lignum Bosque-Madera & Tecnología* 90: 39-41
- Migneault, S.; Koubba, A.; Erchiqui, F.; Chaal, A.; Englund, K.; Krause, C. and Wolcott, M., 2008.** Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science* 110(2): 1085-1092
- Moghaddam, H. and Mirhabibi, A., 2004.** A development method for studying the surface energy variation on high density polyethylene. *Iranian Polymer Journal* 13(6): 485-494
- Nabi, D. and Jog, P., 1999.** Natural Fiber Polymer Composites: A review. *Advances in Polymer Technology* 18(4): 351-363
- Nussbaum, R. M., 1999.** Natural surface inactivation of Scot Pine and Norway Spruce evaluated by contact angle measurements. *Holz Roh Werkstoff* 57 (6): 419-424
- Saini, G.; Bhardwaj R.; Choudhary, V. and Narula, A., 2010.** Poly(vinyl chloride)-*Acacia* bark flour composite: Effect of particle size and filler content on mechanical, thermal, and morphological characteristics. *Journal of*

Applied Polymer Science 117(3): 1309-1318

Scheikl, M. and Dunky, M., 1998. Measurement of dynamic and static contact angles on wood for the determination of its surface tension and the penetration of liquids into the wood surface. *Holzforschung* 52: 89-94

Sewda, K. and Maiti, S., 2007. Mechanical properties of HDPE/bark flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 105(5): 2598-2604

Sewda, K. and Maiti, S., 2009. Mechanical properties of teak wood flour-reinforced HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 112(3): 1826-1834

Sharpe, L. H., 1972. The Interphase in Adhesion. *Journal of Adhesion* 4(1): 51-64

Suresh, M.; Srikanth, G. and Biswas, S., 2009. Thermoplastic Composite-Technology & Business Opportunities. Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC). Department of Science and Technology. Govt. of India. 9p. Disponible en: http://www.tifac.org.in/index.php?option=com_content&view=article&id=535:thermoplastic-composites-technology-a-business-opportunities&catid=85:publications&Itemid=952 Sitio web visitado el 25 Diciembre 2010

Taj, S.; Ali Munawar, M. and Khan, S., 2007. Review: Natural fiber-reinforced polymer composites. *Proceedings Pakistan Academy Science* 44(2): 129-144

UNE-EN, 2003. Una Norma Española-Europäische-Norm. Determinación de la resistencia a la cizalladura por tracción de juntas solapadas. UNE-EN 205. AENOR (eds.). Madrid-España. 15pp

Vásquez, C., 2005. *Eucalyptus nitens*: Mucho más que solo una opción pulpable. *Revista Lignum Bosque-Madera & Tecnología*. Reportaje Junio (80):52-55

Vásquez, G.; Galiñanes, C.; Freire, M.; Antorrena, G. y González, J., 2011. Estudio del mojado y caracterización superficial por microscopía de barrido laser confocal de chapas de madera obtenidas por desenrollo. *Maderas. Ciencia & Tecnología* 13(2): 183-192

Velásquez, B., 2006. Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. *Ecosistemas* 15(1): 77-86

Yemele, M.; Kouba, A.; Cloutier, A.; Soulounganga, P. and Wolcott, M., 2010. Effect of bark content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 41(1): 131-137

EXPERIENCIA DE MANEJO SILVOPASTORAL EN DOS RENOVALES COETANEO DE *Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst. (Ñire) EN LA REGIÓN DE AYSÉN, CHILE

Salinas, Jaime⁵

RESUMEN

La estructura y dinámica de los bosques de *Nothofagus* de Sudamérica está asociada a disturbios o alteraciones periódicas, tales como volteos por viento, incendios, movimientos de masas y tectonismo. Los disturbios a pequeña escala, donde solo se produce la caída de árboles individuales o de un grupo de ellos, dan lugar a una dinámica de claros o "gaps". Los bosques de ñire (*Nothofagus antarctica*) no se alejan de esta dinámica de disturbios, estos ecosistemas durante largo tiempo se asocian a una presión de ganado doméstico, al ataque de insectos por su distribución de transición estepárica y han sido asolados durante décadas por incendios forestales, resultando esto en una pérdida estructural y un escaso valor comercial. El tamaño arbustivo o achaparrado de la especie, con troncos retorcidos, no ha permitido que sea utilizada con fines madereros.

Desde el punto de vista botánico, los bosques de ñire se adscriben mayoritariamente a la clase *Nothofagetea pumilionis-antarcticae*. Se los clasifica en tres morfotipos para ñire en el centro-sur de Chile, atendiendo al desarrollo del sistema aéreo vegetativo; arborescente, arbustivo achaparrado y camefítico. Esta plasticidad ecomorfológica le permite a la especie tolerar variadas y rigurosas condiciones físicas, con grandes variaciones térmicas diarias y déficits de saturación atmosférica, y le ha permitido ser la especie que alcanza la mayor amplitud ecológica de los *Nothofagus* sudamericanos. En Aysén el ñire habita una amplia diversidad de ambientes como fondos de valle, laderas empinadas con suelos someros, ambientes inundables (turberas, mallines), hasta el límite altitudinal de la vegetación, creciendo hasta los 1.200 msnm.

Los ecosistemas dominados por ñire en la región de Aysén se extienden latitudinalmente desde los 43°57,9' LS hasta los 48°29,3' LS y están presentes en asociación dentro del Tipo Forestal Lengua y clasificados como Subtipo Ñire. Sin embargo, la legislación forestal vigente no los reconoce como tal. El Subtipo Ñire representa regionalmente una superficie de 131.593,4 ha, con presencia en casi todas las comunas a excepción de la comuna de Las Guaitecas. Las mayores poblaciones de ñire se presentan en las Provincias de Coyhaique y Capitán Prat con 61.630,6 ha y 37.241,3 ha, respectivamente.

En el presente artículo se presenta una experiencia de investigación de manejo silvopastoral en bosques ñire en la región de Aysén. La iniciativa corresponde a un proyecto de investigación denominado *Pautas de Manejo Silvopastoral para Bosques de Nothofagus antarctica en la Región de Aysén*, financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo (FIBN). El objetivo de dicho proyecto es definir pautas de manejo silvícola para bosques de ñire, que hagan posible la producción silvopastoral sustentable en bosques pertenecientes a pequeños productores forestales de la región.

Palabras claves: Ñire, *Nothofagus antarctica*, Sistemas Silvopastorales, Renuales

⁵ Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Sede Patagonia, Coyhaique, Chile. jsalinas@infor.cl

SUMMARY

Structure and dynamics of *Nothofagus* forests in South America are associated to recurring disturbances and changes such as forest fires, wind damages, mass movements and tectonics. Small scale disturbances, producing individual trees or small stands falls, drive to a dynamic of forest clearings or gaps. Ñire (*Nothofagus antarctica*) forests are not the exception and for a long time have been associated to different pressures because of ranching, forest fires, insect attacks and other pressuring factors. As a result, most of the remaining forests have lost their structure and commercial value, and right now their shrubby and twisted size has not allowed their use to wood production.

From the botanical point of view, most Ñire forests belong to the *Nothofagetea pumilionis-antarcticae* class and according to their aerial vegetative system are classified in to three morphological types; trees, shrubs and camefitic. This ecomorphological plasticity allows the species to tolerate a variety of harsh environmental conditions; such as wide daily thermic variations and atmospheric saturation deficit being the species reaching the wider ecological range within the Southamerican *Nothofagus*. In the Aysén region Ñire covers a wide environmental diversity; valley bottoms, thin soil slopes and wet areas, reaching also the vegetational altitude limit up to 1,200 masl.

Ñire ecosystems in the Aysén region extends between 43°57,9' SL and 48°29,3' SL and are present in association on the Lengua Forest Type (*Nothofagus pumilio*) classified as the Ñire Subtype. However, is not recognized as such a subtype by the current forest legislation. The Ñire Subtype covers at the Aysén region 131,593 ha and is present in almost all the communes with the exception of Las Guaitecas commune. Mayor Ñire populations are located at the Coyhaique and Capitán Prat provinces, covering 61,630.6 and 37,241.3 ha, respectively.

The present article presents a research experience on silvopastoral systems in Ñire forests at the Aysén region. This experience was carried out under de framework of the Silvopastoral Management in Ñire Forests at the Aysén Region research project, supported by the Native Forest Research Fund. Main project objective is the development of silvopastoral management schemes to allow a sustainable production in forests belonging to small owners.

Key words: Ñire, *Nothofagus antártica*, Silvopastoral Systems, Second Growth Forests.

INTRODUCCIÓN

La Patagonia chilena comprende los territorios de la provincia de Palena en la región de Los Lagos, la región de Aysén y la región de Magallanes.

En la Patagonia norte de Chile, la región de Aysén se ubica entre los 43°38'S y 49°16'S (Vergara y Jerez, 2010).

La zona representa una historia reciente de colonización (ILPES 2002, Ortega y Brüning, 2004), que ha transformado grandes extensiones de bosques caducifolios de lenga (*Nothofagus pumilio* [Poepp. & Endl.] Krasser) y ñire (*N. antarctica* [Forster] Oerst.) en explotaciones ganaderas y fragmentos dispersos de estos bosques nativos (Veblen *et al.*, 1996).

Desde un punto de vista ecorregional terrestre, la región de Aysén corresponde a un ecotono entre la zona climática templada septentrional y el dominio austral con marcado acento antártico.

A esta rigurosidad climática, la cual es creciente de Oeste a Este y de Norte a Sur, se agregan las características de un relieve montañoso abrupto y fragmentado por las glaciaciones pleistocénicas (Naruse y Aniya, 1995).

En Aysén los bosques nativos cubren una superficie de 4,3 millones de ha (CONAF, 2012). Los bosques del género *Nothofagus* son los de mayor relevancia económica en Chile.

Existen 11 *taxa* de este género en el territorio nacional, correspondientes a 9 especies, un híbrido y una variedad (Ramírez, 1987).

Lenga y ñire son dos de las nueve especies del género con presencia en la zona austral y cubren una superficie de 1.400.376 ha en la región de Aysén (CONAF, 2012).

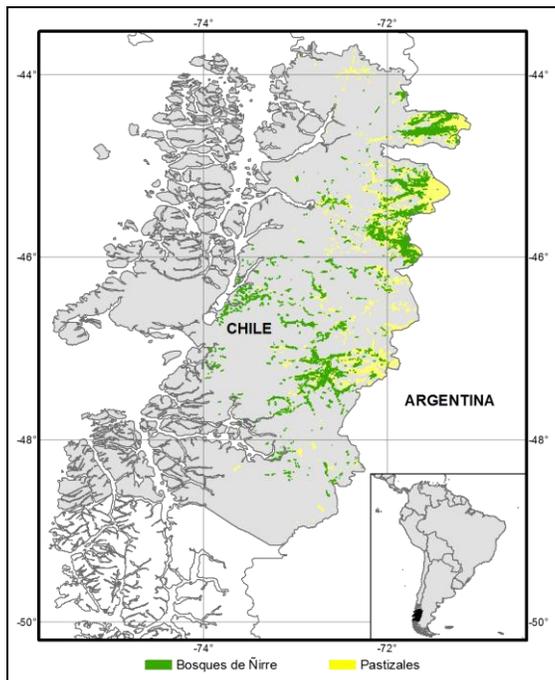
En la zona intermedia de Aysén, entre el bosque siempreverde y la estepa patagónica, originalmente dominada por los bosques caducifolios de lenga y ñire, extensas explotaciones ganaderas y fragmentos dispersos de bosque nativo y plantaciones dan forma a los amplios valles ganaderos (Hepp *et al.*, 1988).

El uso ganadero en los bosques en la región, se remonta a la introducción del ganado ovino y bovino durante la colonización en el siglo XIX. En un comienzo, la ganadería ejerció una fuerte presión sobre el bosque, que se mantiene en la actualidad.

En Aysén aún existe controversia en el área total deforestada, la pérdida de superficie de bosque original a partir de 1930 se estima en más del 60% de la superficie original (Veblen *et al.*, 1996).

En Patagonia Sur (Argentina) se ha desarrollado investigación sobre sistemas silvopastoriles basados en la ganadería bovina y ovina en zonas de bosque de ñire.

En Chile existe escasa información sobre sistemas de producción mixto silvopastoral en bosques nativos. Por lo anterior, en el presente trabajo se examina una experiencia de manejo silvopastoral en dos condiciones de bosques de *Nothofagus antarctica* realizados en la región de Aysén de Chile.



(Fuente: Elaboración propia y CONAF, 2012)

Figura N° 1
BOSQUES DE ÑIRE Y ZONAS DE PASTIZALES EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Cuadro N° 1
SUPERFICIE DE BOSQUES DE ÑIRE, CLASIFICADOS DENTRO DEL TIPO FORESTAL LENGUA Y MATORRALES DE ÑIRE, REGIÓN DE AYSÉN

Provincia	Comuna	Tipo Forestal Lengua		Matorrales de Ñire
		Subtipo Ñire	Ñire Especie Dominante	
		(ha)		
Aysén	Cisnes	298,6	275,2	1.084,1
	Aysén	15.838,4	13.938	4.754,8
	Guaitecas	-	-	-
	Subtotal	16.137	14.213,2	5.838,9
Coyhaique	Lago Verde	26.001,5	25.363,4	16.998,2
	Coyhaique	35.629,1	35.160,8	7.464,2
	Subtotal	61.630,6	60.524,2	24.462,4
General Carrera	Chile Chico	9.800	8.908,6	13.563,6
	Río Ibáñez	6.784,5	6.313,9	2.361,2
	Subtotal	16.584,5	15.222,5	15.924,8
Capitán Prat	Cochrane	29.058,6	25.128,6	38.364,1
	Tortel	5.237,1	5.032,2	4.518
	O'Higgins	2.945,6	2.684,3	4.493,5
	Subtotal	37.241,3	32.845,1	47.375,6
Total		131.593,4	122.805	93.601,7

(Fuente: CONAF, 2012 y Elaboración propia)

MATERIAL Y MÉTODO

Área de Estudio

El presente estudio se llevó cabo en dos ñirantales de la comuna de Coyhaique, que poseen diferencias edafoclimáticas marcadas. El primero corresponde al predio Vista Hermosa ubicado en un sitio en el sector de Balmaceda (45° 52' 22" LS y 71° 49' 08" LW) a 530 msnm, caracterizado por un bosque secundario coetáneo de ñire sobre un mallín (napa freática superficial). El segundo sitio está cercano, en el predio Los Mallines en el sector denominado Galera Chico (45° 50' 25" LS y 71° 50' 01" LW) a 580 msnm, donde ocurre un boque coetáneo en transición con la estepa (condición seca). El uso histórico de ambos ñirantales ha sido el de ganadería bovina extensiva desde principios del siglo XX. En ambos casos se compara la situación de un bosque sin intervenir (testigo forestal), con un bosque intervenido (raleo por lo bajo) y la situación pastoril sin bosque (pradera aledaña al bosque, para análisis de la estrata herbacea).

Cuadro N° 2
TRATAMIENTOS EVALUADOS EN DOS CONDICIONES DE ÑIRANTAL
COMUNA COYHAIQUE, CHILE

Tratamiento	Tratamiento	Descriptor
A	Testigo forestal	Bosque de ñire sin intervenir
B	Silvopastoral	Bosque de ñire raleado (40% área basal)
C	Pradera natural	Situación pastoril (100% transmisividad luminica)

Componente Forestal

La caracterización de la estructura forestal fue evaluada a partir de un inventario de 10 parcelas circulares de 100 m² distribuidas al azar en cada condición de bosque de ñire. Para el caso del tratamiento Silvopastoral la medición se realizó antes y después de la intervención.

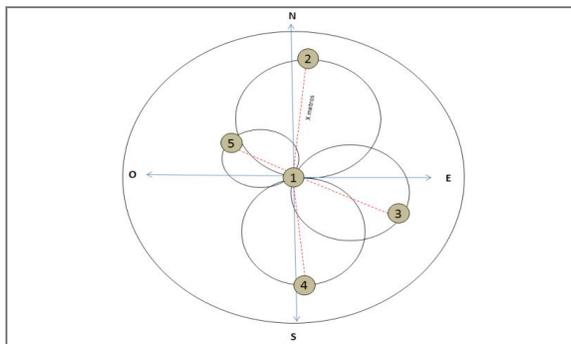


Figura N° 2
DIAGRAMA DE MEDICIÓN DEL DISTANCIAMIENTO MEDIO ENTRE ÁRBOLES

En cada parcela se midieron el diámetro a 1,3 m (DAP), la altura total (medida con Vertex), la cobertura de copas (medida con fotografías hemisféricas) y la regeneración existente se evaluará a través de cuatro parcelas de 1 m², cada una dispuesta en el sentido de los puntos cardinales (N, S, E, O). El distanciamiento medio entre árboles fue determinado a través de la selección de un árbol central y medición de los cuatro árboles más cercanos, orientados en los puntos cardinales (Figura N° 2).

A partir de la información del inventario se estimó el área basal (m^2/ha), densidad de la población (arb/ha), el diámetro medio cuadrático (cm) y las existencias (m^3scc/ha), para estimar este parámetro se utilizó la función de volumen propuesta por Cisternas et al. (2015).

Volumen total ($m^3 scc$) = $0,0000426656 * DAP^2 * HT$	$R^2=99,9633$
---	---------------

La evaluación y monitoreo de la dinámica y estructura forestal a largo plazo se evaluará a partir de un conglomerado, compuesto de 3 parcelas permanentes circulares de $200 m^2$ (radio= 7,98 m) distribuidas sistemáticamente en forma de "L" invertida. Cada árbol de la parcela fue identificado, numerado y marcado a la altura de 1,3 m para tener mayor precisión en las mediciones anuales. Para el levantamiento de la información dasométrica se medirá de cada árbol de las parcelas la altura total utilizando Vertex, el DAP con forcípula, y las clases de copa (dominante, codominante, intermedia y suprimida). La variación lumínica (cobertura de copas) y la regeneración natural serán evaluadas usando la misma metodología anteriormente descrita. A partir de mediciones anuales en el mes de mayo, se estimará el área basal, dinámica de densidad (mortalidad) y crecimiento en volumen del rodal.

Garantizar la continuidad del estrato arbóreo es un componente central en la implementación de sistemas silvopastorales (Peri *et al.*, 2009), con este fin se abordan distintos ensayos; estudio de germinación de semillas, enraizamiento de estacas, regeneración natural en el bosque y regeneración agámica.

- Estudios de Germinación

Se realizaron análisis físicos de semillas de ñire siguiendo la metodología de la norma ISTA (International Seed Testing Association). Para determinar los parámetros de energía germinativa, periodo de energía y capacidad germinativa se usó la metodología del valor máximo de Czabator (1962). Se montaron cuatro repeticiones de 50 semillas para cada tratamiento (Cuadro N° 3) en placas Petri con papel humedecido, para luego ser dispuestas en cámara germinadora, en ausencia de luz, a temperatura constante de $23^{\circ}C$.

**Cuadro N° 3
TRATAMIENTOS PRERGERMINATIVOS DE SEMILLAS**

Tratamiento	Descriptor	Semillas (N°)
E1	Control sin estratificación	200
E2	Estratificación 30 días	200
E3	Estratificación 45 días	200
E4	Estratificación 60 días	200

- Enraizamiento de Estacas

Para realizar las pruebas de producción vegetativa se colectó material vegetal procedente de las dos condiciones de sitio del ñirantal (mallín, seco). Este material fue obtenido del último crecimiento anual o bianual de cada árbol seleccionado (Salinas *et al.*, 2011) y evaluado a través de tres repeticiones de 20 estacas a diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (T1= 0 ppm, T2= 3.000 ppm, T3= 100 ppm, T4= 200 ppm, T5= 500 ppm, T6= 1.000 ppm, T7= 2.000 ppm).

- Regeneración Natural

La evaluación de la regeneración natural existente en cada condición de sitio fue evaluada considerando presencia y ausencia de ganado. En cada parcela forestal se evaluó la

regeneración natural con presencia de pastoreo, a través de cuatro parcelas de 1 m², distanciadas 5 m desde el árbol central y orientada en el sentido de los puntos cardinales (N, S, E, O).

El total de parcelas a evaluar en cada tratamiento (testigo forestal, silvopastoreo) fue de 12 parcelas por sitio. En paralelo se instalaron tres jaulas metálicas de 1 m², con ello se evaluó la instalación de plántulas de regeneración natural sin presencia de ganado (aislando la herbivoría).

Ambas evaluaciones se realizaron al inicio (diciembre) y final (abril) de cada período de crecimiento (Bahamonde *et al.*, 2011).

- **Regeneración Agámica**

El ñire presenta alta capacidad de reproducción vegetativa, reproduciéndose por raíz, tocón y esquejes, gracias a estas características la silvicultura de monte bajo se debe considerar relevante para asegurar el bosque en sistemas mixtos silvopastorales.

En este contexto, en el bosque manejado (tratamiento silvopastoral) de ambos sitios, se protegieron 18 tocones utilizando dos tipos de protectores individuales; el primero (T1) construido con malla gallinera (aislando vacuno y liebre), el segundo (T2) de alambre liso y púas (aislando vacuno), y (T3) sin protector.

En cada repetición se evaluaron parámetros del tocón (DAT: diámetro altura tocón, Htoc: altura tocón, Nb: número de brotes, Lb: largo de brotes y Nm: número de muñones) y porcentaje de ramoneo para cada tratamiento.

Componente Herbáceo y Suelo

Previo al inicio del experimento se tomó una muestra de suelo, para cada tratamiento en los dos sitios experimentales, con el propósito de evaluar la composición química inicial (micro y macroelementos) de cada sector.

Para ello se realizó un muestreo en cada sitio mediante un barreno (10 cm profundidad). En cada caso se tomaron 20 submuestras, las que luego fueron mezcladas para formar una muestra compuesta, la que se destinó a análisis en laboratorios de INIA.

En cada unidad experimental (testigo forestal, silvopastoral y pradera natural) se instalaron cuatro jaulas de exclusión (0,5 m²), las cuales fueron distribuidas al azar, en sitios donde existiera cierta cubierta herbácea, aunque esta fuera incipiente.

Cuando la estrata herbácea al interior de la jaula alcanzaba una altura factible de ser muestreada (aproximadamente 15-20 cm), se procedía a su cosecha, removiendo la jaula y colocando un marco de la misma medida (0,5 m²) para cortar con una maquina eléctrica todo el material vegetal presente.

Luego se procede a reubicar la jaula en un lugar con similares características al que estaba. Este procedimiento se repitió en cada jaula.

El material colectado se pesa posteriormente en verde, para determinar la producción total de materia fresca.

La muestra se divide en dos fracciones; una para determinar el contenido de materia seca (MS) y otra para composición botánica (separación de especies o grupos de especies constituyentes).

Finalmente, para determinar materia seca, la muestra ingresa a una estufa de secado a 60°C por aproximadamente 48 horas hasta peso constante.

RESULTADOS

Evaluación Forestal

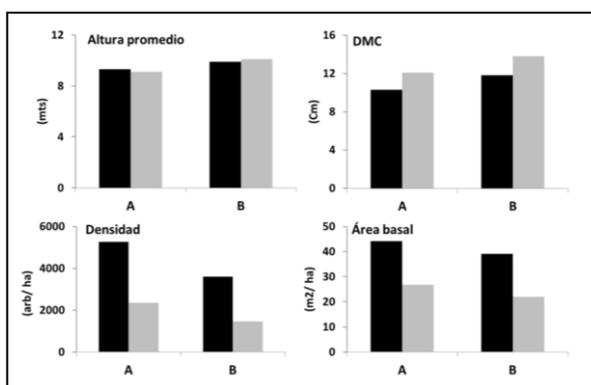
El estudio se realizó en dos renovales de ñire, ubicado a 45 km al sudeste de la ciudad de Coyhaique. La evaluación forestal inicial permitió describir la estructura de los ñirantales en estudio. En el Cuadro N° 4 se presentan los parámetros dasométricos de los tratamientos testigo forestal y silvopastoral en las dos condiciones de sitio antes de la intervención.

Cuadro N° 4
VARIABLES DE ESTRUCTURA FORESTAL EN DOS CONDICIONES DE BOSQUES DE ÑIRE
PROCEDENTES DE PARCELAS PERMANENTES ANTES DE LA INTERVENCIÓN

Sitio	Tratamiento	AB (m ² /ha)	HD (m)	DMC (cm)	N (arb/ha)	VOL (m ³ /ha)
Mallín	Testigo forestal	34,74	8,1	8,3	6.370	78,50
	Silvopastoral	45,31	9,3	10,0	5.737	132,94
Seco	Testigo forestal	42,67	9,0	9,4	6.120	117,84
	Silvopastoral	38,99	10,2	11,74	3.600	141,07

AB = área basal
 HD = altura dominante
 DMC = diámetro medio cuadrático
 N = densidad de individuos
 V = volumen total

En ambas condiciones de sitio, el bosque presenta una estructura regular de origen monte medio, donde domina la presencia de cepas de 3 a 8 pies y en menor proporción individuos de monte alto. La estrategia de intervención correspondió a un raleo de selección positiva, la que permitió un incremento del DMC sin alterar el estado de desarrollo de Latizal Bajo. La densidad del bosque original fue de 6.370 arb/ha para el sector de mallín y 6.120 arb/ha para la condición seca, mientras que los tratamientos silvopastorales presentaron densidades de 5.737 y 3.600 arb/ha para la condición de mallín y seca, respectivamente, las que fueron reducidas en un 55% (mallín) y 59% (seca) (Figura N° 3).



El color negro de las barras representa dosel completo y el color gris dosel intervenido

Figura 3
IMPACTO DE LA APERTURA DEL DOSEL SOBRE VARIABLES FORESTALES
EN DOS CONDICIONES DE BOSQUES

- **Luminosidad**

Las variables fotométricas y radiométricas se evaluaron a través de fotografías hemisféricas (lente SUNEX *fish-eye*, campo visual 185°). Estas fotografías fueron tomadas evitando la influencia directa del sol, bajo un cielo cubierto de nubes, temprano en la mañana o durante la tarde luego de la caída del sol (Roxburgh & Kelly, 1995).

El análisis de 10 fotografías antes y otras 10 fotografías después del raleo (Figura N° 4), permitió cuantificar el cambio en el régimen lumínico a nivel de rodal.

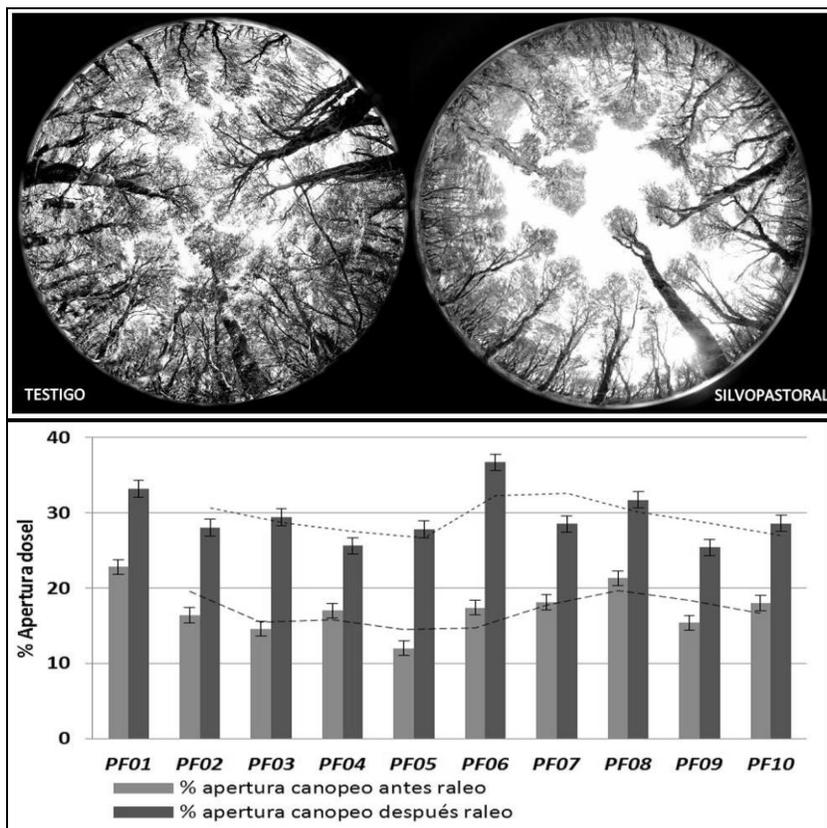


Figura N° 4
IMPACTO DE UN RALEO SILVOPASTORAL EN LA APERTURA DEL CANOPEO DE UN ÑIRANTAL CERCANO A LA ESTEPA (CONDICIÓN SECA) UTILIZANDO FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS

Para estimar la cobertura del dosel en cada condición boscosa se evaluaron fotografías hemisféricas en tres parcelas permanentes en orientaciones norte-sur y este-oeste. La cobertura boscosa antes de la intervención fue de 72,5% en el ñirantal en condición seca y 71,4% en condición de mallín (Cuadro N° 5).

Posterior al raleo los parámetros cambiaron moderadamente a 46,2% y 46,9% respectivamente.

Cuadro N° 5
PARÁMETROS DE COBERTURA DEL DOSEL EN DIFERENTES CONDICIONES DE ÑIRANTAL
EVALUADO A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS

Sitio	Tratamiento	Cobertura del Dosel (%)						Media (± DE)
		N - S			E - O			
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	
Mallín	Testigo forestal	69,49	70,24	69,30	71,30	74,22	74,13	71,4 ± 2,2
	Silvopastoral	46,60	47,71	48,57	45,75	46,45	46,40	46,9 ± 1,0
Seco	Testigo forestal	72,76	72,55	71,10	74,45	73,25	70,59	72,5 ± 1,4
	Silvopastoral	49,50	45,04	44,90	46,20	44,90	46,61	46,2 ± 1,8

DE= Desviación estándar.

- Parámetros Reproducción Sexual y Asexual

Entre los parámetros físicos de semillas de ñire se determinó el peso de semillas, que corresponde a una variable establecida por las normas internacionales ISTA y consiste en el peso de 1.000 semillas a fin de conocer el tamaño y viabilidad de las especies. Mientras menor sea el peso de una semilla, más pequeño será su tamaño o más baja su viabilidad (Escobar, 2012).

Cuadro N° 6
PARÁMETROS FÍSICOS DE SEMILLAS EN DOS CONDICIONES DE SITIO

Sitio	Pureza (%)	Semillas (N°/kg)	Peso Semillas (g)*	Tamaño Semillas		
				Largo (mm)	Ancho (mm)	
Mallín	(2014)	95,8	784.450	1,27	3,10 ± 0,40	3,30 ± 0,50
	(2015)	98,8	972.000	1,45	2,87 ± 0,30	2,91 ± 0,43
Seco	(2015)	98,6	718.000	1,63	2,44 ± 0,20	2,41 ± 0,35

* N=1.000 semillas.

El peso de semillas de ñire procedente de un ñirantal en condición de mallín vario entre 1,27 y 1,45 g y el número de semillas por kilogramo entre el rango de 784.450 y 972.000 sem/kg.

El ñirantal en condición seca en tanto presento un mayor peso de semillas de 1,63 g y menor cantidad de semillas por kilogramo (718.000 sem/kg).

Valores similares fueron entregados por Bahamonde *et al.* (2013), quienes evaluaron el peso de 1.000 semillas de ñire en diferentes clases de sitio en la Patagonia argentina, encontrando valores entre los rangos 1,1 y 1,6 g.

Los parámetros germinativos para ñire presentan baja capacidad de germinación, alcanzando un máximo de 28% (estratificación de 45 días).

Similares resultados fueron presentados por Premoli (1991), quien observó que las respuestas a la germinación fueron muy bajas, por diversos factores, entre ellos; herbivoría por insectos, en particular del Orden *Lepidoptera* (Gentili y Gentili, 1988), generación de tumores por ataque de bacterias, hongos y/o virus (Braun, 1969), o desarrollo partenocárpico de las semillas por tratarse probablemente de un año de escasa floración (Poole, 1950).

Cuadro N° 7
PARÁMETROS DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS
PROCEDENTES DE LA CONDICIÓN DE MALLÍN

Sitio	Tratamiento Pregerminativo	Capacidad Germinativa (%)		Energía Germinativa (%)		Periodo de Energía (Días)	
		2014	2015	2014	2015	2014	2015
Mallín (45° 52' LS 71° 49' LW)	E1	14,5	2,7	12,5	2,7	12	18
	E2	16,0	12,0	14,0	9,3	13	8
	E3	28,0	-	21,5	-	12	-
	E4	-	2,0	-	1,3	-	7
Seco (45° 50' LS 71° 50' LW)	E1	-	16,7	-	13,3	-	11
	E2	-	19,3	-	14,7	-	8
	E3	-	-	-	-	-	-
	E4	-	6,7	-	4,7	-	8

La evaluación de la reproducción vegetativa de material procedente de la condición de mallín, presentó los niveles más aceptables de formación de raíces, bajo una concentración de 500 ppm (T5), obteniendo 53% de enraizamiento a los 60 días en la cama caliente.

El tratamiento sin aplicación de enraizante (T1) presentó nula formación de raíces, confirmando lo presentado por (Salinas *et al.*, 2011; 2014). El material vegetal colectado del ñirantal en condición seca, presentó valores de 7% de enraizamiento (T4 y T6 a los 60 días), muy por debajo en comparación con el de mallín.

Otra opción para dar continuidad al bosque en sistemas silvopastorales, es a través del estudio de protección de tocones, al menos hasta los 2 m de altura. En el Cuadro N° 8 se muestra la información de la primera temporada de evaluación de tocones protegidos en dos condiciones de bosques de ñire.

Cuadro N° 8
EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TOCÓN Y PORCENTAJE DE RAMONEO DE BROTES DE ÑIRE
EN BASE A DOS TIPOS DE PROTECTORES INDIVIDUALES

T	Sitio Seco						Sitio Mallín					
	Dat (cm)	Htoc (cm)	Brotes (N°)	Muñón (N°)	Largo Brotes (cm)	R (%)	Dat (cm)	Htoc (cm)	Brotes (N°)	Muñón (N°)	Largo Brotes (cm)	R (%)
T1	14,22	40,92	57,89	9,11	17,21	0,0	11,91	41,22	67,74	6,56	32,16	4,0
T2	16,24	44,33	70,63	8,50	10,29	70,0	13,59	41,78	52,67	7,89	12,65	58,3
T3	14,94	42,28	61,00	9,14	10,14	90,0	13,00	43,80	55,40	9,20	4,90	74,4

- T1 = Protector malla (aislando presión de vacuno – liebre)
- T2 = Protector alambre (aislando presión de vacuno)
- T3 = Sin protector (libre a ramoneo)
- Dat = Diámetro altura tocón
- Htoc = Altura tocón
- R = Ramoneo



A= Protector Malla (Aislado Presión de Vacuno – Liebre)
 B= Protector Alambre (Aislado Presión de Vacuno)
 C= Sin Protector (Libre a Ramoneo)

Figura N° 5
PROTECTORES INDIVIDUALES DE TOCÓN

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista dasonómico, los bosques estudiados presentan mayoritariamente una forma de masa de monte medio (compuesta por árboles cuyo origen es un brote de cepa o de raíz y regeneración natural). Si bien no se presentaron rastros de acción antrópica, bosques contiguos muestran vestigios de fuego y de aprovechamiento de leña.

La aplicación de raleos en ambos renovales, con una intensidad cercana al 50% de la densidad, origina una mayor calidad del rodal remanente y un aumento del diámetro medio. Del mismo modo, la estabilidad de la masa remanente del bosque frente al viento y nieve no fue perjudicada producto de la intervención. En paralelo, ocurre una activación pratense producto de mayor luminosidad, aumentando la productividad de la pradera.

La coberturas del dosel en las diferentes condiciones de bosque presentaron diferencias cercanas a un 35% entre la luminosidad del bosque intervenido (tratamiento silvopastoral) con la del bosque original (testigo). Esta diferenciación fue similar en ambas condiciones de sitio.

Los resultados de germinación obtenidos en laboratorio con una procedencia de semillas de la zona de Coyhaique confirman la baja capacidad germinativa de las semillas de la especie y entregan como mejor resultado el originado con el tratamiento estratificación fría por 45 días, con una germinación acumulada a los 30 días de 28%. El resultado de este tratamiento prácticamente duplica a los obtenidos con el testigo (sin estratificación) y con la estratificación fría por 30 días, que llegaron a 14,5% y 16% de germinación, respectivamente, confirmando el efecto positivo de la estratificación fría sobre la capacidad germinativa de ñire. Este resultado indica que la producción de plantas por semilla de ñire es posible, pero con un alto insumo de semillas, y las diferencias mostradas por los tratamientos de estratificación hacen recomendable continuar esta línea de investigación incorporando nuevos períodos de estratificación.

Una alternativa para especies con semillas de baja capacidad germinativa, aunque de mayor costo, es la propagación vegetativa o asexual. En este sentido nuevos estudios debieran incorporar, por ejemplo, material rejuvenecido de rebrotes de cepa, diferentes procedencias del material, variantes de temperatura en cama caliente e invernadero, una época más propicia como la primavera cuando el material vegetal no está en receso invernal y tal vez AIB en mayores concentraciones.

Es necesario considerar criterios o indicadores de clasificación específicos en los

estudios vinculados a la estructura de los bosques de ñire (como la edad y la calidad de sitio aún no descrita para la especie en la región). No es posible en la descripción de estas masas boscosas, compararlas a otras masas de *Nothofagus*, que son totalmente disímiles.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Fondo de Investigación del Bosque Nativo (FIBN) por el financiamiento del proyecto 022/2013 Pautas de Manejo Silvopastoral de Bosques de Ñire en la Región de Aysén.

Se agradece igualmente al técnico de INFOR Bernardo Acuña y a INIA Tamel Aike por su importante ayuda en el proyecto.

REFERENCIAS

Bahamonde, H.; Peri, P.; Monelos, L. y Pastur, G., 2011. Aspectos ecológicos de la regeneración por semillas en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* en Patagonia Sur, Argentina. *Bosque* 32(1): 20-29.

Bahamonde, H.; Peri, P.; Monelos, L. y Pastur, G., 2013. Regeneración por semillas en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* bajo uso silvopastoril en Patagonia Sur, Argentina. *Bosque* (Valdivia), Vol.34, N° 1, p.89-101. ISSN 0717-9200.

Braun, A.C., 1969. Abnormal Growth in Plants. En: *Plant Physiology, a Treatise*, vol. VB, F.C. STEWARD (Ed.). Academic Press, New York: 379– 420.

Cisternas, J.; Pinto, R. y Cossio, A., 2015. Raleo en bosque de ñire para un aprovechamiento multipropósito. VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. 8 pág.

CONAF, 2012. Catastro Vegetacional del Bosque Nativo. Actualización de la XI región de Aysén. Coyhaique, Chile.

Czabator, F. P., 1962. Germination value: An index combining speed and completeness of Pine seed germination. *Forest Science* 8 (4): 386 – 396.

Escobar, R., 2012. Semillas. En: *Producción de Plantas en Viveros*. Consejo Federal de Inversiones – CIEFAP. 1ra Edición. Buenos Aires. 190 pag.

Gentili, M. y Gentili, P., 1988. Lista comentada de los insectos asociados a las especies sudamericanas del género *Nothofagus*. Monografías de la Academia Nacional de Cs. Exactas, Físicas y Naturales. Simposio sobre *Nothofagus*. Bs. As. N° 4: 85-105.

Hepp, C.; Thiermann, H. y Ramírez, C., 1988. Praderas en la zona austral XI región (Aysén). In: Ruiz Núñez, I. (Ed.), *Praderas para Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.

Naruse, R. y Aniya, M., 1995. Synopsis of glacier research in Patagonia. *Bulletin of Glaciers Research* 13:1-10.

Ortega, H. y Brüning, A., 2004. Aysén. Panorama histórico y cultural de la XI región. Ediciones LOM, Chile. Disponible en <http://www.aisenpanorama.cl/libro.htm> (07/09/2015).

Peri, P.; Hansen, N.; Rusch, V.; Tejera, L.; Monelos, L.; Fertig, M.; Bahamonde, H. y Sarasola, M., 2009. Pautas de manejo de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* (ñire) en Patagonia. In *Actas del Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*, Posadas, Misiones, Argentina mayo de 2009. Actas. p. 151-155.

Poole, A., 1950. Studies of the New Zealand *Nothofagus* species. 2. Nut and cupule development. *Trans. Roy. Soc. N.Z.* 78:502-508.

Premoli, A., 1991. Morfología y capacidad germinativa en poblaciones de *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst del noroeste andino patagónico. *Bosque* 12(2): 53-59.

Ramírez, C., 1987. El Género *Nothofagus* y su Importancia en Chile. *Bosque* 8(2): 71-76.

Roxburgh, J. R and Kelly, D., 1995. Uses and limitations of hemispherical photography for estimating forest light environments. *NZ J Ecol* 19:213-217.

Salinas, J.; Acuña, B.; Ovando, V. y Díaz, E., 2011. Estándares de producción vegetativa en plantas de *Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. en la región de Aysén. MINAGRI-INFOR. 11p.

Salinas, J.; Acuña, B.; Koch, L. y Uribe, A., 2014. Producción de árboles nativos con fines de recuperación de bosques y áreas degradadas en la región de Aysén. Propagación sexual y asexual de *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst. Nire. MINAGRI – INFOR. 53 p.

Veblen, T. T.; Kitzberger, B. y Rebertus, A., 1996. Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del Sur de Chile y Argentina. In: Armesto, J.J., Villagrán, C., Arroyo, M.K. (Eds.), Ecología de los bosques nativos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago de Chile, pp. 169-197.

Vergara, Olivia, y Jerez, Viviane, 2010. Insectos e infestaciones asociadas al follaje de *Nothofagus antarctica* (Forst) Oerst (Nothofagaceae) en la cuenca del río Baker, región de Aysén, Chile. Gayana (Concepción), 74(2), 83-93.

EFFECTO DE RIZOBACTERIAS EN EL ENRAIZAMIENTO DE MINIESTACAS EN DOS CLONES HÍBRIDOS DE *Eucalyptus* spp.

González-Candia, Paulina; Rodríguez, Francisco; Sanfuentes Eugenio⁶ y Sossa, Katherine.

RESUMEN

En la constante búsqueda de tecnologías que incrementen el enraizamiento en miniestacas de *Eucalyptus* spp, el uso de rizobacterias ha emergido como una alternativa viable. Las rizobacterias utilizan los exudados de la raíz de las plantas como fuente de carbono y nitrógeno y a su vez poseen diversos mecanismos que pueden promover el crecimiento de las plantas.

Este efecto de rizobacterias en el crecimiento y enraizamiento de plantas ha sido demostrado en varios cultivos agrícolas, pero aún son escasas las investigaciones en especies forestales. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de rizobacterias en el enraizamiento de miniestacas de dos clones híbridos de *Eucalyptus* (*E. nitens* x *E. globulus*).

Fueron aisladas 106 cepas bacterianas desde la rizósfera de cinco clones de *Eucalyptus* spp., usando los medios selectivos CCY, KB, AC y R2A. Posteriormente, se realizaron tres ensayos (E1, E2, E3) en vivero aplicando las cepas bacterianas al substrato (10^8 ufc/ml) y directamente en la base de las miniestacas. En cada ensayo se emplearon dos controles, consistentes en agua destilada estéril y caldo de cultivo estéril.

Los ensayos fueron realizados en el vivero Los Ángeles, localizado en la ciudad de Los Ángeles, de propiedad de Forestal Mininco S.A., entre enero y octubre de 2011 y enero del 2012, bajo condiciones operacionales de producción de plantas.

En el primer ensayo se utilizó un clon híbrido evaluándose las 106 cepas aisladas. En los dos ensayos siguientes se utilizaron 32 y 20 cepas aplicadas en dos clones híbridos, para E2 y E3, respectivamente, seleccionadas de acuerdo al resultado del ensayo precedente.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, empleándose 20 miniestacas por repetición para E1 y E2, y 30 miniestacas en E3. Después de 45 días del establecimiento de las miniestacas, en los tres ensayos se evaluó el enraizamiento (%), además de la longitud de raíz (cm) y biomasa de raíz (mg) en E2 y E3. Los resultados fueron analizados mediante test paramétricos o no paramétricos, en función de la distribución de los residuos (SAS 9.2).

En el primer ensayo 32 cepas bacterianas aumentaron significativamente el enraizamiento de las miniestacas, con una ganancia máxima de 47%. En el segundo ensayo, 9 y 7 cepas tuvieron efecto significativo en el enraizamiento de ambos clones, con ganancias de 17 y 14%, respectivamente. A su vez, 7 cepas incrementaron la longitud de raíz y 3 cepas coincidieron en promover el enraizamiento y la longitud de raíces en uno de los clones. En el tercer ensayo, 13 cepas aumentaron el enraizamiento, con ganancias entre 33 y 12% para ambos clones; coincidiendo 12 cepas en promover el enraizamiento en ambos clones.

Los resultados de esta investigación constataron que 12 cepas de rizobacterias promovieron simultáneamente el enraizamiento en ambos clones y 9 aumentaron la longitud de la raíz en al menos un clon; evidenciándose además una respuesta diferencial bacteria x clon.

Palabras clave: *Eucalyptus*, Enraizamiento, Rizobacterias.

⁶ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile. esanfuen@udec.cl

SUMMARY

Vegetative propagation techniques are an important tool in Eucalypts silviculture and improvement, within them microcuttings rooting is an important one and the rooting capacity rising is a continuous research objective. The use of rhizobacterias to improve rooting capacity has emerged as viable alternative. That kind of bacterium uses plant root exudes as a carbon and nitrogen source and also has some mechanisms that can promote the plant growth. This effect has been demonstrated in several agriculture crops, but forest species research on the matter is still scarce. Main objective of this paper is to evaluate the rhizobacterias effect on *Eucalyptus spp* hybrid clones microcuttings rooting.

A total of 106 bacterium strains were isolated from the roots of five Eucalypts clones by using the CCY, KB, AC y R2A selective means. Afterwards three trials (E1, E2, E3) were established at the nursery adding these strains to de substratum (10^8 ufc/ml) and directly to the micro cuttings bottom. Each trial includes two controls consisting in sterile distilled water and sterile culture media. Trials were carried out in the Forestal Mininco's Los Angeles nursery between January 2011 and January 2012 under operational plant production conditions.

The first trial included one hybrid clone and all 106 strains were evaluated. The other two trails included 30 and 32 strains in two hybrid clones, E2 and E3, respectively, selected accordingly to the results of the first trial. Experimental design was complete randomized blocks using 20 microcuttings by replication for E1 and E2, and 30 microcuttings for E3. After 45 days from the microcuttings establishment the rooting (%) was evaluated in all trials as well as the root length (cm) and the root biomass (mg) in E2 and E3. Results were analized through parametric or non parametric test in function of the residues distribution (SAS 9.2).

The first trail showed that 32 strains increased significantly the microcuttings rooting with a maximun gain up to 47%. The second trial results on 9 and 7 strains showing a significantly effect on the rooting of both clones, with 17% and 14% gain, respectively. Also 7 strains increased root length and 3 strains increased root length and rooting in one of the clones. Regarding to the third trial, 13 strains increased the rooting with gains between 33% and 12% for the two clones and 12 of them increased the rooting in both clones.

Results of the research verify that 12 strains promoted simultaneously the rooting of the two clones and 9 strains increased the root length of at least one of the clones. A differentiating response bacterium x clon strains was also verified.

Key words: *Eucalyptus*, Rooting, Rhizobacterias.

INTRODUCCIÓN

Eucalyptus globulus es la especie forestal más importante en Chile después de *Pinus radiata*, se la utiliza principalmente en la producción de celulosa para exportación, dado que posee fibra corta de buena calidad, alta densidad de madera y bajo contenido de lignina, características que favorecen la extracción de celulosa.

Además de identificar genotipos superiores que produzcan fenotipos más favorables, los programas de mejoramiento han sido dirigidos a la hibridación. Los fenotipos híbridos presentan características deseadas, tales como rápido crecimiento y tolerancia a diferentes causas de estrés. Así la hibridación intraespecífica en *Eucalyptus* es una alternativa de gran impacto y relativo bajo costo en programas de mejoramiento de árboles de interés (Assis, 2004, Poke *et al.*, 2005).

Dentro de las estrategias de producción de *Eucalyptus* spp. en vivero, la reproducción asexual, definida como la reproducción de plantas empleando partes vegetativas de estas, ha generado una profusa línea de investigación fisiológica y de aplicación biotecnológica conducente a la propagación vegetativa de material vegetal genéticamente sobresaliente. La propagación vegetativa es bien conocida debido a las variadas ventajas que posee con respecto a la producción de plantas desde semillas, como son la uniformidad genética, su adaptación, menor costo y alta tasa de producción (Sotelo y Monza, 2007), lo que la convierte en una importante herramienta para aumentar la competitividad de la industria forestal.

Este sistema ha utilizado con éxito varios tipos de material vegetal, tales como estacas y miniestacas, producido desde plantas madres para la propagación de clones de *Eucalyptus* sp. (Sasse y Sands, 1995; Pardos, 2007). En los sistemas de propagación a gran escala el enraizamiento del material vegetal (estacas o miniestacas), es una etapa crucial en el éxito de este método de producción.

Sin embargo, existen inconvenientes, como el bajo enraizamiento en las estacas y las grandes variaciones en la capacidad de enraizamiento entre las especies y clones híbridos, observándose a menudo una reducción gradual en el potencial de enraizar (Penchel *et al.*, 1995, Teixeira *et al.*, 2007; Xavier *et al.*, 1997; Schwambach *et al.*, 2005).

Por lo tanto, a pesar de los avances en las técnicas de clonamiento y aumento en las tasas de enraizamiento, aún es posible observar importantes variaciones entre especies de *Eucalyptus* (Mafia *et al.*, 2007a; Teixeira *et al.*, 2007). Esta limitante en la técnica ha promovido el intenso estudio del enraizamiento adventicio en la propagación clonal de *Eucalyptus* spp.

El enraizamiento es afectado por múltiples factores, tanto endógenos como exógenos. Los factores propios de la planta son la juvenilidad de los brotes, la posición de los brotes de los cuales las estacas son extraídas, el diámetro de las estacas, la presencia de yemas u hojas, el período de colecta de las estacas, la especie, el estado de dormancia y el nivel nutricional.

Existen asimismo aspectos bioquímicos asociados al enraizamiento, como fitohormonas, compuestos fenólicos y las características genéticas de la planta (Hand, 1994).

Existen también factores ambientales que pueden afectar el enraizamiento, como la humedad, la luminosidad, el fotoperíodo, la composición química del substrato, la temperatura, el estrés y los microorganismos presentes en el suelo (Higashi *et al.*, 2000).

En el enraizamiento adventicio se reorganizan células del floema secundario, del cambium o de los radios parenquimáticos, que al desarrollarse se transforman en primordios radiculares. En condiciones adecuadas estos primordios crecen, atraviesan la corteza y emergen al exterior mientras que en el interior se conectan con el sistema conductor (floema y xilema).

La diferenciación y emisión de los primordios radiculares puede venir acompañada de la formación de un tejido parenquimático de cicatriz denominado callo en la base de las estacas, el cual impide el acceso de patógenos al interior de las estacas sin influenciar la rizogénesis (Baldini, 1992).

El enraizamiento adventicio consta de tres fases sucesivas: a) Inducción, donde ocurren principalmente eventos moleculares y bioquímicos, b) Iniciación, divisiones celulares con la formación de los meristemas de la raíz, y c) Expresión, consistente en la aparición de la raíz (Kevers *et al.*, 1997).

En la constante búsqueda de metodologías que mejoren el enraizamiento del material de propagación en especies de interés comercial, el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento en plantas, en adelante PGPR, ha emergido como una estrategia promisoriosa en vista de las posibilidades de aumentar el enraizamiento, el crecimiento y el control biológico.

La capacidad de mejorar el crecimiento y rendimiento de plantas por parte de este tipo de bacterias ha sido demostrada mayormente en cultivos agrícolas (Erturk *et al.*, 2009) y también en algunas especies forestales (Chanway, 1997; Karthikeyan y Sakthivel, 2011). Estas bacterias habitan principalmente la rizósfera, aunque también pueden encontrarse en el rizoplasma y dentro de las plantas, en cuyo caso se denominan bacterias endófitas (Gray y Smith, 2005).

La rizósfera es aquella zona del suelo que está directamente influenciada por las raíces, afectando sus exudados los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Las raíces de las plantas exudan una amplia gama de compuestos de pequeño y gran peso molecular, incluyendo iones, agua, enzimas, mucilagos, aminoácidos, ácidos orgánicos, proteínas, azúcares y compuestos fenólicos (Bais *et al.*, 2006).

La interacción que se da entre las raíces de plantas y las bacterias se debe a la utilización por parte de las bacterias de los exudados de las plantas como fuente de carbono y nitrógeno (Benizri *et al.*, 2001). Estas pueden influenciar positivamente el crecimiento de la planta a través de mecanismos directos e indirectos que incluyen la fijación de nitrógeno atmosférico y aumento de la tolerancia a estrés biótico-abiótico.

Los mecanismos indirectos de las PGPR hacia las plantas radican principalmente en su efecto contra fitopatógenos, siendo mediado por competencia por espacio y nutrientes, producción de antibióticos y sideróforos, inducción de resistencia sistémica y parasitismo (Ping & Boland 2004; Romeiro *et al.*, 2005; Siddiqui, 2006; Compant *et al.*, 2010).

A su vez, los mecanismos directos describen la estimulación del crecimiento de la planta mediante la facilitación de compuestos nutritivos, ya sea produciéndolos o facilitando su captación. Ejemplo de esto es la fijación de nitrógeno atmosférico, la síntesis de distintas fitohormonas, la solubilización de minerales y la síntesis de enzimas que pueden modular los niveles de fitohormonas en las plantas (Penrose y Glick, 2003; Siddiqui, 2006).

Sustentado en la capacidad de promover el crecimiento de las plantas es que a las PGPR se les ha atribuido la cualidad de "Biofertilizante". La definición de este concepto fue acuñada por Vessey (2003) quien la describió como "una sustancia que contiene microorganismos vivos, y que al aplicarse a semillas, superficie de plantas o suelo, colonizan la rizósfera o el interior de la planta promoviendo el crecimiento de esta al aumentar el suministro o la capacidad de captar nutrientes".

La utilización de biofertilizantes posee como mayor cualidad disminuir el impacto ambiental negativo resultante del continuo uso de fertilizantes químicos (Adesemoye *et al.*, 2009). Dentro de los principales géneros a los cuales pertenecen este tipos de bacteria se encuentran *Bacillus*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Paenibacillus*, entre otros (Chanway, 1997; Bent *et al.*, 2002; Bais *et al.*, 2006, Compant *et al.*, 2010; Eneback, 2005; Erturk *et al.*, 2010).

El efecto de las rizobacterias en el crecimiento de plantas de especies forestales ha sido demostrado. Chanway (1997) da cuenta de los efectos de inóculos bacterianos en el crecimiento de *Pinus contorta*, donde la inoculación de plantas de cuatro meses con la cepa *Bacillus polymyxa* L6-16R incrementó la biomasa de estas en cerca de un 33%.

En cuanto al enraizamiento, se han descrito efectos significativos en miniestacas de 3

clones de *Eucalyptus* spp. presentando incrementos tanto en la frecuencia de enraizamiento, como en la biomasa, luego de la inoculación con cepas bacterianas aisladas desde rizoplasma y rizósfera (Teixeira *et al.*, 2007).

La influencia de las rizobacterias también ha sido comprobada en diferentes condiciones de propagación clonal, variando los resultados de acuerdo al clon de *Eucalyptus* y el aislado rizobacteriano evaluado, obteniéndose para las mejores cepas estudiadas incrementos de 21,4% y 78,0% para enraizamiento y biomasa de raíces, respectivamente (Mafia *et al.*, 2007a).

La acción de las rizobacterias ha sido también evaluada en estacas de varias especies de *Eucalyptus*, tales como *E. globulus*, donde se observaron aumentos de 47% en el porcentaje de enraizamiento en estacas inoculadas con cepas aisladas de la rizósfera de *E. globulus* (Díaz *et al.*, 2009), y en *E. camaldulensis* donde la inoculación con *Azotobacter chroococcum* mostró aumentos significativos en la biomasa, número de raíces, longitud de raíz y porcentaje de enraizamiento (Karthikeyan y Sakthivel, 2011).

Los antecedentes descritos anteriormente dan cuenta de la capacidad y potencial del uso de rizobacterias como biofertilizante para estimular el crecimiento y enraizamiento de *Eucalyptus* spp. en estados tempranos de su producción (estacas y miniestacas), beneficiando el posterior establecimiento de este.

OBJETIVO

Evaluar el efecto de rizobacterias aisladas desde la rizósfera de varios clones de *Eucalyptus* spp. en el enraizamiento de miniestacas de dos clones híbridos recalcitrantes (*E. nitens* x *E. globulus*).

MATERIAL Y MÉTODO

Localización de los Ensayos

Los ensayos fueron realizados en el vivero de la empresa Forestal Mininco SA ubicado en la ciudad de Los Ángeles, región del Bio Bio. Se realizaron tres ensayos, de 45 días cada uno en las siguientes fechas: Enero 2011 (E1), Octubre 2011 (E2) y Enero 2012 (E3).

Material Vegetal Utilizado

Fueron utilizados los clones de *E. nitens* x *E. globulus* X-64 y X-65.

En los ensayos E1 y E2 se utilizaron miniestacas de segundo orden, las cuales contaban con dos hojas.

Para el ensayo E3 se usaron miniestacas apicales que contaban con dos a tres pares de hojas, obtenidas desde los ápices de las plantas madres.

Cepas Bacterianas y Formas de Aplicación

Las cepas fueron aisladas desde la rizósfera de cinco clones de *Eucalyptus* spp.; *E. globulus* X-49 y X-52, *E. nitens* x *E. globulus* X-64 y X-65, y *E. globulus* x *E. camaldulensis* X-89. Las rizobacterias se aislaron en medios selectivos: CCY para *Bacillus* spp., KB para *Pseudomonas* spp, AC para *Streptomyces* spp y R2A como medio general.

Luego de sembrar las muestras de rizósfera diluidas, se obtuvieron distintas colonias, las cuales fueron caracterizadas por color, forma, tamaño, relieve y opacidad. Se aislaron 106 cepas las que fueron almacenadas a -80°C.

La inoculación de las rizobacterias en el sustrato se realizó de la misma forma en los

tres ensayos, mientras que las modificaciones solo se remitieron a cambios proporcionales en las cantidades de inóculo y volumen de sustrato utilizado. Una vez reactivadas las cepas bacterianas en medio nutritivo sólido (agar R2A - 48 hrs - 25°C), estas fueron cultivadas en medio nutritivo líquido (caldo R2A - 48 h - 25°C - 120 RPM), alcanzando una concentración de 1×10^8 UFC/ml, en el volumen final.

Además de los tratamientos con rizobacterias, se incluyeron dos controles; agua destilada (Control A) y caldo de cultivo R2A estéril (Control C). La suspensión bacteriana (120 ml), fue inoculada en el sustrato mediante aspersión incubándose este a 25°C por 48 h, antes de montar cada ensayo. El sustrato consistió en una mezcla de turba, vermiculita y perlita (50-30-20%, respectivamente). El sustrato fue inoculado por separado con cada tratamiento (cepa de rizobacteria).

Adicionalmente, en vivero las bases de las miniestacas fueron inoculadas con cada cepa bacteriana (tratamiento) mediante inmersión de la zona de corte, por aproximadamente 20 segundos, e inmediatamente colocadas en sus respectivos recipientes que contenían el sustrato previamente inoculado con la misma rizobacteria.

Diseño de los Ensayos

- Ensayo 1 (E1): Bloques Completos al Azar, tres bloques, clon *E. nitens* x *E. globulus* X-64, 106 tratamientos y 1 control (agua). Unidad experimental 20 estacas.

- Ensayo 2 (E2): Bloques Completos al Azar, cuatro bloques, dos clones de *E. nitens* x *E. globulus* (X-64 y X-65). Cada bloque contuvo 32 tratamientos y dos controles (caldo estéril sin bacterias y agua destilada). Unidad experimental 20 estacas (dos repeticiones dentro de cada bloque, 10 estacas cada una).

- Ensayo 3 (E3): Bloques Completos al Azar, cuatro bloques, dos clones de *E. nitens* x *E. globulus* (X-64 y X-65). Cada bloque contenía 20 tratamientos y dos controles (caldo estéril sin bacterias y agua destilada). Unidad experimental 30 estacas (dos repeticiones dentro de cada bloque, 15 estacas cada una).

En los ensayos no se utilizaron hormonas, se mantuvo una humedad relativa del 80% y temperatura de 25°C. En E2 y E3 se utilizó el fungicida Pomarsol a 800 ppm.

Evaluación de los Ensayos

Trascurridos 45 días del montaje de ensayo se procedió a evaluar las miniestacas. Las variables evaluadas fueron: Miniestacas enraizadas por tratamiento (E1), longitud de raíz y biomasa (E2 y E3). Otras variables como miniestacas con callo sin raíz, miniestacas muertas y miniestacas sin raíz ni callo, fueron registradas pero no evaluadas estadísticamente.

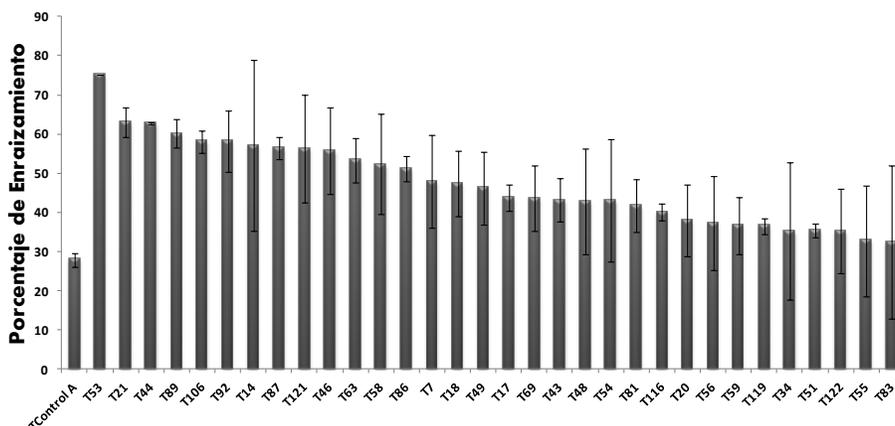
Análisis Estadísticos

Se analizó el porcentaje promedio de miniestacas enraizadas por tratamiento. También se evaluó longitud de raíz (cm) y biomasa de la raíz expresada como peso seco en miligramos. Los resultados fueron analizados mediante test paramétricos o no paramétricos, en función de la distribución de los residuos (SAS 9.2).

RESULTADOS

Ensayo 1

El tratamiento control tuvo un porcentaje promedio de miniestacas enraizadas de 28%. En la Figura N° 1 se muestra los 32 tratamientos en los que el porcentaje de enraizamiento fue significativamente mayor ($p > 0,05$) al control. La mayor ganancia para este ensayo fue de 47% y se obtuvo con el tratamiento 53.



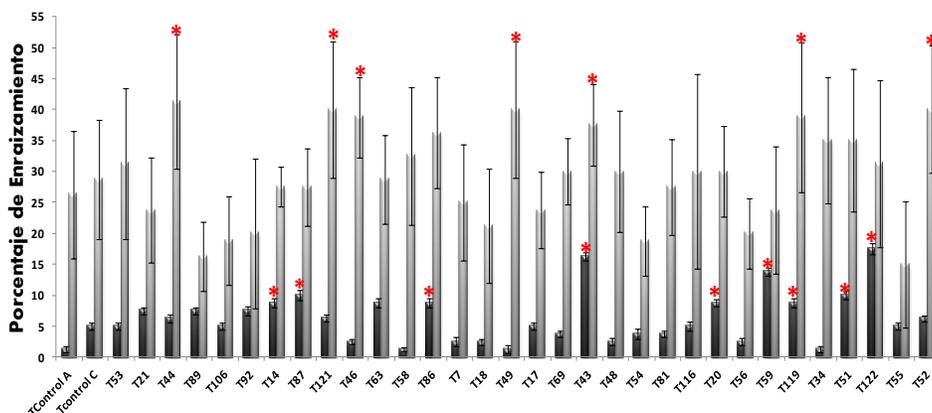
Se indican en orden descendente los tratamientos que aumentaron significativamente ($p > 0,05$) el porcentaje de enraizamiento respecto al control A. Se muestran promedios \pm error estándar.

Figura N° 1
PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO PARA EL CLON X-64 POR TRATAMIENTO

Ensayo 2

- Porcentaje de Enraizamiento

En la Figura N° 2 se muestra el porcentaje de miniestacas enraizadas en E2 en los clones X-64 y X-65. En el clon X-64 los tratamientos control (Control A y Control C) mostraron un porcentaje promedio de miniestacas enraizadas de 1 y 5%, respectivamente, y los mayores porcentajes oscilaron entre 9 y 18% para esta variable. En el clon X-65 los tratamientos control mostraron un porcentaje promedio de miniestacas enraizadas de 26 y 29%, respectivamente, además siete tratamientos aumentaron el enraizamiento con ganancias entre 41 y 39%.



Los tratamientos que mostraron ser significativamente mayores al control a ($p < 0,05$) se indican con (*). Se muestran promedios \pm error estándar.

Figura N° 2
PORCENTAJES DE ENRAIZAMIENTO EN E2 POR TRATAMIENTO
EL CLON X-64 (BARRAS OSCURAS) Y CLON X-65 (BARRAS CLARAS)

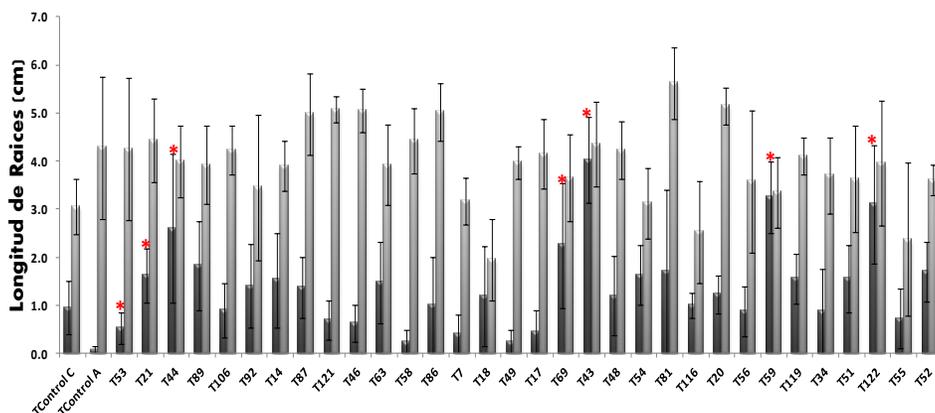
- Longitud de Raíces

En la Figura N° 3 se muestran las longitudes de raíz en E2 para los clones X-64 y X-65. En el clon X-64 los tratamientos control (Control A y Control C) mostraron una longitud de 0,1 y 1 cm, respectivamente.

Las mayores longitudes se obtuvieron con los tratamientos 89, 69, 122, 44, 43, 59 y 21, siendo significativamente mayores ($p < 0,05$) al Control A.

En el clon X-65, los tratamientos control mostraron una longitud promedio 3,1 y 4,3 cm, respectivamente.

En este caso no hubo diferencias significativamente entre los tratamientos y el control.



Los tratamientos que mostraron ser significativamente mayores al control a ($p < 0,05$) se indican con (*). Se indican promedios \pm error estándar.

Figura N° 3
LONGITUD DE RAÍCES EN MINIESTACAS POR TRATAMIENTO
CLON X-64 (BARRAS OSCURAS) Y CLON X-65 (BARRAS CLARAS)

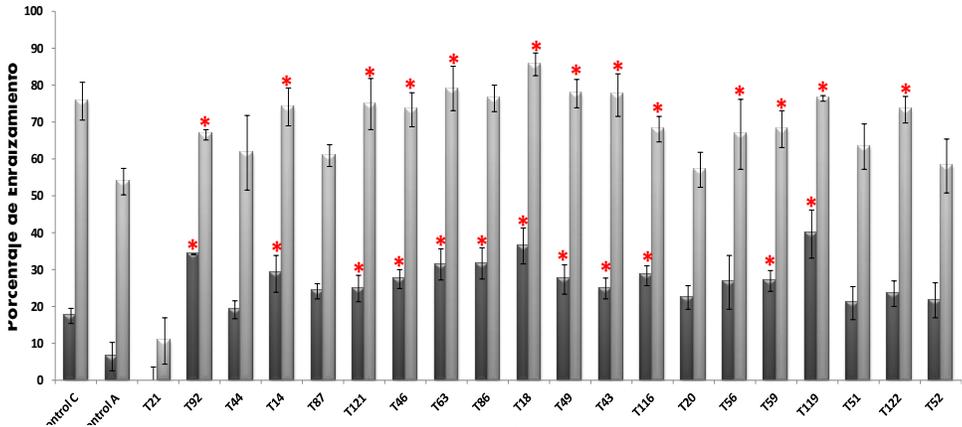
Ensayo 3

- Porcentaje de Enraizamiento

En la Figura N° 4 se muestra el porcentaje de miniestacas enraizadas para el clon X-64 y X-65 en E3.

En el clon X-64 los tratamientos control (Control A y Control C) mostraron un porcentaje promedio de miniestacas enraizadas de 7 y 18% respectivamente, y trece tratamientos fueron significativamente mayores a los controles.

Para el clon X-65, los tratamientos control mostraron un porcentaje promedio de miniestacas enraizadas de 54% y 76%, además trece tratamientos en este clon fueron significativamente mayores al Control A.

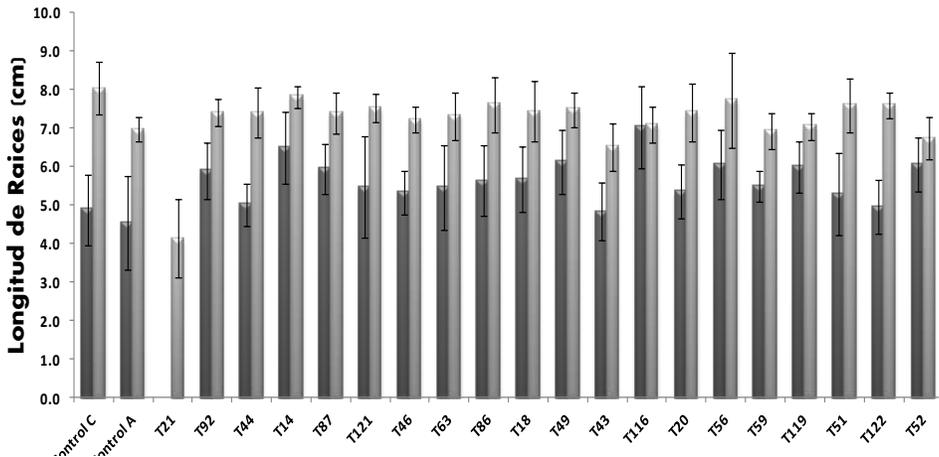


Los tratamientos que mostraron ser significativamente mayores al control a ($p < 0,05$) se indican con (*). Se muestran promedios \pm error estándar.

Figura N° 4
PORCENTAJES DE ENRAIZAMIENTO DE MINIESTACAS EN E3 POR TRATAMIENTO CLON X-64 (BARRAS OSCURAS) Y CLON X-65 (BARRAS CLARAS)

- Longitud de Raíces

En la Figura N° 5 se muestran las longitudes de raíz en E3 para los clones X-64 y X-65. Las mayores longitudes se obtuvieron con los tratamientos 116, 14, 49, 52 y 56. Sin embargo, no fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) al control. En el clon X-65 las mayores longitudes se obtuvieron con los tratamientos 21, 92, 122 y 14. Sin embargo, no fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) al Control A.



Se muestran promedios \pm error estándar.

Figura N° 5
LONGITUD DE RAÍCES EN MINIESTACAS POR TRATAMIENTO CLON X-64 (BARRAS OSCURAS) Y EL CLON X-65 (BARRAS CLARAS)

DISCUSIÓN

Hace varias décadas las bacterias han sido introducidas en el suelo para mejorar el crecimiento de plantas (Kloepper *et al.*, 1989; Vessey, 2003; Bhattacharyya y Jha, 2012). La investigación acerca de su efecto en plantas y en semillas se ha centrado principalmente en mejorar cultivos agrícolas, más que en plantaciones forestales (Probanza *et al.*, 2002).

Sin embargo, estudios sobre su efecto en el crecimiento y rendimiento de especies de interés forestal ha alcanzado relevancia (Chanway, 1997), en vista de la importancia de esta industria en países como Brasil, India y Chile (Pardos, 2007; Ferreira *et al.*, 2008; Karthikeyan y Sakthivel, 2011).

El efecto de inoculantes bacterianos en el crecimiento se ha evaluado en coníferas como *Pinus*, *Tsuga* y *Pseudotsuga* (Chanway, 1997) y en la especie latifoliada *Eucalyptus* sp (Teixeira *et al.*, 2007; Mafia *et al.*, 2009; Puente *et al.*, 2010). El interés por estos inoculantes bacterianos nace de la creciente necesidad de mejorar las etapas tempranas de producción de plantas, utilizando técnicas alternativas más amigables con el medio ambiente y menos costosas (Adesemoye *et al.*, 2009). Así una de las mayores etapas limitantes en la producción clonal de *Eucalyptus* es el enraizamiento, donde se han observado dificultades debido a la disminución en la capacidad de enraizar y la variabilidad que se da en este rasgo entre clones de la misma especie.

En cuanto a los resultados obtenidos de este estudio compuesto de tres ensayos (E1, E2 y E3), se lograron aislar más de cien cepas rizobacterianas presentando las colonias una amplia variabilidad morfológica, esto en cuanto a su textura, color, forma, tamaño, opacidad y velocidad de crecimiento. La selección de los mejores aislados se hizo en base a los mayores porcentajes de enraizamiento y longitud de raíz, tomando en cuenta también la congruencia y/o frecuencia de estos aislados en los tres ensayos realizados.

En el primer ensayo (E1) de las 106 cepas evaluadas, 32 mostraron aumentar significativamente el porcentaje de enraizamiento en relación al tratamiento control en miniestacas del clon X-64. El control agua (A) fue utilizado para los análisis estadísticos descartándose el control caldo sin bacterias (C), ya que este último tuvo un efecto mayor que el del agua sin bacterias en el enraizamiento. Esto pudo deberse a la composición del caldo ya que sus nutrientes pudieron estimular el crecimiento de las bacterias nativas en el sustrato repercutiendo esto en mayores valores de enraizamiento. En relación a esto, se ha observado un efecto en las rizobacterias al aplicar leche en polvo en el sustrato, al constatarse un aumento en las variables porcentaje de enraizamiento y biomasa radicular debido a la utilización de la leche como fuente de nutrientes por parte de las rizobacterias (Mafia *et al.*, 2007b). Asimismo, en el primer ensayo (E1) se observó una ganancia máxima en el porcentaje de enraizamiento de 47% en el tratamiento con mejor rendimiento (cepa 53).

Estos resultados implican mejores rendimientos a los obtenidos por Teixeira *et al.* (2007) en ensayos con estacas de un clon híbrido comercial de *E. grandis*, donde las bacterias lograron ganancias en el enraizamiento de aproximadamente 20%.

En el segundo ensayo (E2), las 32 bacterias que tuvieron los mejores resultados de enraizamiento en E1, fueron ensayadas en los clones X-64 y X-65. Además, se evaluaron las variables de longitud promedio de la raíz y biomasa radicular. En este caso la respuesta fue variable en cuanto a los clones utilizados, siendo el clon X-65 el que respondió mejor en todas las variables evaluadas. En E2, de los 32 tratamientos evaluados, 9 y 7 tratamientos tuvieron efecto en el porcentaje de enraizamiento para los clones X-64 y X-65, respectivamente, con ganancias de 17 y 14%. Para la variable longitud promedio de raíces, 7 tratamientos mostraron aumentar de manera significativa ($p > 0,05$) esta variable con respecto al control (0,1 cm) para el clon X-64.

Estos resultados son semejantes a los constatados por Karthikeyan y Sakthivel (2011), quienes obtuvieron aumentos significativos en la longitud de la raíz en estacas de *E. camaldulensis* inoculadas con *Azotobacter chroococcum*. Los tratamientos 122, 43 y 59 son coincidentes en cuanto a favorecer al mismo tiempo las variables porcentaje de enraizamiento y longitud promedio de raíces en el clon X-64. Las demás variables para el clon X-65 y X-64, es decir, longitud promedio

de raíz y biomasa radicular, no presentaron diferencias significativas en relación con sus respectivos controles. Además, se evaluó el control positivo hormona IBA (ácido-indol butírico) en E2, donde los tratamientos y el control negativo agua (A) no mostraron diferencias (datos no mostrados).

En E3 se evaluaron 20 tratamientos, los controles mostraron porcentajes de enraizamiento de 7 y 54% para los clones X-64 y X-65, respectivamente. En el primer clon 13 tratamientos mostraron aumentar significativamente ($p>0,05$) el porcentaje de enraizamiento respecto a su control (A) con ganancias entre 33 y 18%. Para el clon X-65, 13 tratamientos fueron asimismo mayores al control ($p>0,05$), con ganancias entre 32% y 12%.

La magnitud de estos resultados es semejante a lo obtenido por Mafia *et al.* (2007a), que evaluó el efecto de *Pseudomonas* sp, *Bacillus* sp y *Stenotrophomonas maltophilia* en plantas de *Eucalyptus* en diferentes condiciones de propagación clonal. En dicho estudio se obtuvieron ganancias en el enraizamiento de 38%.

El porcentaje de enraizamiento es una variable importante y frecuente a la hora de seleccionar cepas rizobacterianas como potenciales PGPR. Ejemplo de esto es los realizado por Díaz *et al.* (2009) quienes describieron e identificaron varias rizobacterias con efecto en el enraizamiento y ganancias del orden de 41%, destacando las especies *Bacillus subtilis/amyloliquefaciens* y *B. mycoides*, que presentaron un mayor efecto en el enraizamiento de estacas de *E. globulus* clon X-53.

Un aspecto relevante en E3 es el tipo de material vegetal utilizado. Las miniestacas apicales, mostraron una mayor respuesta en el enraizamiento, esto principalmente por la influencia del ápice como fuente de fitohormonas, además al poseer este nuevo material más hojas (3 pares) también aumento la cantidad de fotosintatos disponibles para la planta (Taiz, 2007).

En el último ensayo (E3) se observó coincidencia en 12 de los 14 tratamientos con efecto en el enraizamiento en ambos clones, a excepción de las cepas 121, 122 y 86 que mostraron efecto en solo uno de los clones. La bacterias no incrementaron la longitud de raíces en ninguno de los clones, resultado que ha sido documentado previamente en estudios con plantas de *Pinus taeda* y *P. pinea* (Eneback, 2005; Probanza *et al.*, 2002); aunque fue incrementado el crecimiento de las plantas. La biomasa de la raíz no fue afectada por las bacterias, contrastando con los resultados de otras investigaciones que dan cuenta del aumento en esta variables en raíces de plantas o estacas de varias especies forestales tratadas con diferentes cepas de rizobacterias (Mafia *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2009; Erturk *et al.*, 2010; Karthikeyan y Sakthivel, 2011). Sin embargo, los resultados son coincidentes con aquellos obtenidos por Probanza *et al.* (2002), en donde no siempre se logró un incremento en biomasa por parte de las bacterias.

En este estudio no se observó una tendencia marcada en cuanto al efecto de las rizobacterias y el clon del cual se aislaron. No obstante, se puede indicar que la mayoría de los aislados con efecto en el enraizamiento pertenecieron a los clones X-64, X-65 y X-49. La especificidad entre clon de aislamiento y cepa de rizobacteria es un rasgo encontrado en estudios de inoculación bacteriana en plantas (Enebak *et al.*, 1998; Mafia *et al.*, 2009). Sin embargo, también se ha observado respuestas diferenciales en cuanto a la especie de planta de la cual se aíslan las rizobacterias y su efecto en el crecimiento de estas (Shishido y Chanway, 1998; Enebak, 2005), lo cual puede deberse principalmente a la naturaleza de los exudados de las raíces que varía de acuerdo al genotipo de la planta (Bais *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

- Rizobacterias aisladas desde varios clones de *Eucalyptus* incrementaron el enraizamiento y longitud de la raíz en dos clones de *E. nitens* x *E. globulus*.
- El incremento en el enraizamiento logrado por las rizobacterias fue mayor en el clon *E. nitens* x *E. globulus* X-65.

- Hubo diferencias en el enraizamiento al usar miniestacas de tipo apical y de segundo orden, siendo siempre mayor en las primeras para ambos clones utilizados.

REFERENCIAS

- Adesemoye, A. O., Torbert, H. A. and Kloepper, J. W., 2009.** Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Allow Reduced Application Rates of Chemical Fertilizers. *Microbiology Ecology*. 58:921–929.
- Assis T., Fett Neto, A. and Couto, A., 2004.** Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. *Plantation Forest Biotechnology for the 21st Century*. 303-333 ISBN: 81-7736-228-3.
- Baldini, E., 1992.** *Arboricultura General*. Madrid. Mundi-Prensa. 379p.
- Bais, H. P.; Weir, T. L.; Perry, L. G.; Gilroy, S. and Vivanco, J. M., 2006.** The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Other Organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.*57:233–66.
- Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K., 2012.** Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World J Microbiol Biotechnol.* 28:1327–1350.
- Benizri, E.; Baudoin, E. and Guckert, A., 2001.** Root colonization by inoculated plant growth-promoting rhizobacteria. *Biocontrol. Sci. Technol.*, 11: 557-574.
- Bent, E.; Breuil, C.; Enebak, S. and Chanway, C., 2002.** Surface colonization of Lodgepole Pine (*Pinus contorta* var. *latifolia* [Dougl. Engelm.] roots by *Pseudomonas fluorescens* and *Paenibacillus polymyxa* under gnotobiotic conditions. *Plant and Soil*. 241: 187-196.
- Chanway, C., 1997.** Inoculation of Tree Roots with Plant Growth Promoting Soil Bacteria: An Emerging Technology for Reforestation. *Forest Science* 43 (1).
- Compant, S.; Clément, C. and Sessitsch, A., 2010.** Plant growth-promoting bacteria in the rhizo and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology & Biochemistry*.42: 669-678.
- Díaz, K.; Valiente, C.; Martínez, M.; Castillo, M. and Sanfuentes, E., 2008.** Root-promoting rhizobacteria in *Eucalyptus globulus* cuttings. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 25:867-873.
- Enebak, S., 2005.** Rhizobacteria Isolated from Loblolly Pine Seedlings Mediate Growth-Promotion of Greenhouse-Grown Loblolly, Slash, and Longleaf Pine Seedlings. *Forest Science*. 51(6).
- Erturk, Y.; Ercisli, S.; Haznedar, A. and Cakmakci, R., 2010.** Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on rooting and root growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) stem cuttings. *Biol Res* 43: 91-98.
- Ferreira, A.; Quecine, M. C.; Teixeira, P.; Oda, S.; Azevedo, J. L. and Araújo. W. L., 2008.** Diversity of endophytic bacteria from *Eucalyptus* species seeds and colonization of seedlings by *Pantoea agglomerans*. *FEMS Microbiol Lett.* 287: 8–14.
- Gray, E. J. and Smith, D. L., 2005.** Intracellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 395-412.
- Hand, P., 1994.** Biochemical and molecular markers of cellular competence for adventitious rooting. In *Biology of Adventitious Root formation*. *Basic Life Sciences* 62: 111–121.
- Higashi. E. A.; Vaz de Arruda Silveira, R. L. e Gonçalves, A. N., 2000.** Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: princípios básicos e a sua evolução no Brasil. *Circular Técnica IPEF N° 192*.
- Kevers, C.; Hausman, J. F.; Faivre-Rampant, O.; Evers, D. and Gaspar, T., 1997.** Hormonal control of adventitious rooting: progress and questions. *J. Appl. Bot.* 71: 71–79
- Karthikeyan, A. and Sakthivel, K. M., 2011.** Efficacy of *Azotobacter chroococcum* in Rooting and Growth of *Eucalyptus camaldulensis* Stem Cuttings. *Research Journal of Microbiology*.
- Kloepper, J. W.; Lifshitz, R. and Zablutowicz, R. M., 1989.** Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *TIB TECH* - February. (Vol, 7).

- Mafia, R.; Couto, A.; Ferreira, E. M.; Galafazzi, T. e Siqueira, L., 2005.** Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. *Árvore*, Viçosa-MG. 29: 843-851.
- Mafia, R.; Couto, A.; Maffia, L. A.; Ferreira, E. M. and Siqueira, L., 2007a.** Effect of rhizobacteria on rooting and growth of *Eucalyptus* clones under different conditions of clonal propagation. R. *Árvore*, Viçosa-MG. 31(5): 813-82.
- Mafia, R.; Couto, A.; Ferreira, E. M., Teixeira, D. and Valverde, E. A., 2007b.** Rooting induction and growth of eucalyptus by rhizobacteria: effect of addition of nutrient source and growing substrate composition. R. *Árvore*, Viçosa-MG. 31(4): 589-597.
- Mafia, R.; Couto, A.; Maffia, L. A.; Ferreira, E. M.; Breda, D. H. and Siqueira, L., 2009.** Microbiolization and interaction between growth promoting rhizobacteria and *Eucalyptus* clones. R. *Árvore*, Viçosa-MG. 33(5): 789-797.
- Pardos, J., 2007.** Perspectiva Fisiología en la Producción de y Mejora de Eucalipto (con énfasis en *Eucalyptus globulus* Labill) Boletín del CIDEU. 3: 7-55.
- Penchel, R. M.; Neves, D. C.; Campinhos, C. N.; Evangelista, A. L., e Deschamps, C., 1995.** Otimização de parâmetros fisiológicos da propagação vegetativa por estaquia de matrizes elite de eucaliptos. In: Congresso Brasileiro De Fisiologia vegetal.
- Penrose, D. M. and Glick, B. R., 2003.** Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiologia Plantarum*, 118: 10-15.
- Ping, L. and Boland, W., 2004.** Signals from the undergroup: bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis. *Trends in Plant Science*. 9 (6): 263-266.
- Poke, F. S.; Vaillancourt, R. E.; Potts, B. M. and Reid, J. B., 2005.** Genomic research in *Eucalyptus*. *Genética*. 125:79–101.
- Probanza A.; Lucas García, J. A.; Ruiz Palomino, M. R.; Ramos, B. and Gutiérrez, F. J., 2002.** *Pinus pinea* L. seedling growth and bacterial rhizosphere structure after inoculation with PGPR *Bacillus* (*B. licheniformis* CECT 5106 and *B. pumilus* CECT 5105). *Applied Soil Ecology*. 20: 75-84.
- Puente, M. I.; García, J. E.; Pathauer, P. and Peticari, A., 2010.** Inoculation with Azospirillum brasilense is a useful tool in *Eucalyptus globulus* management. *American.Eurasian J. Agric. & Environ Sci.* 8(2): 124-130.
- Romeiro R. S.; Lanna Filho, R.; Vieira, R.; Alves Silva, H. S. and baracat Pereira, M. C., 2005.** Macromolecules released by a plant growth-promoting rhizobacterium as elicitors of systemic resistance in tomato to bacterial and fungal pathogens. *Journal Phytopathology*. 153: 120-123.
- Sasse, J. and Sands, R., 1995.** Root system development in cuttings of *Eucalyptus globulus*. En: B.M. Potts (managing editor), *Eucalypt Plantations: Improving, Fibre Yield and Quality*. CRCTHF-IUFRO. 299-303.
- Schwambach, J.; Fadanelli, C. Fett-Neto, A., 2005.** Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*. 25: 487–494.
- Siddiqui, Z. A., 2006.** PGPR: Biocontrol and Biofertilization, Department of Botany, Aligarh Muslim University. Z. A. Siddiqui (ed.) PGPR: prospective biocontrol agents of plant pathogens pp 111–142.
- Shishido, M. and Chanway, C., 1998.** Forest soil community responses to plant growth-promoting rhizobacteria and spruce seedlings. *Biol Fertil Soils* 26:178–179.
- Sotelo, M. and Monza, J., 2007.** Micropropagation of *Eucalyptus maidenii* elite trees. *Agrociencia*.11: 81 – 89.
- Taiz, L., 2007.** Fisiologia Vegetal. Universitat Jaume I. 672 p.
- Teixeira, D.; Couto, A.; Mafia, R.; Ferreira, E. M.; de Siqueira, L.; Maffia, L. A. and Munteer, H., 2007.** Rhizobacterial promotion of Eucalypt rooting and growth. *Brazilian Journal of Microbiology*. 38:118-123.
- Vessey, J., 2003.** Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255: 571–586.
- Xavier, A.; Comério, J. and Iannelli, C. M., 1997.** Eficiência da microestquia e da micropropagação na clonagem de *Eucalyptus spp.* In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, Salvador. Proceedings. Colombo: Embrapa Florestas 4: 40-45.

COMPORTAMIENTO DE TULIPERO (*Liriodendron tulipifera* L.) BAJO MANEJO DE ARBORICULTURA PARA PRODUCIR MADERA DE ALTO VALOR EN EL SUR DE CHILE

Loewe, Verónica⁷; Delard, Claudia⁷ y Morel, Macarena.

RESUMEN

Se analizó el comportamiento de tulipero en un sector de la zona sur de Chile, y se relacionó su desarrollo con el que presenta en su zona de origen, a la vez que se estudió el impacto de diferentes prácticas de manejo.

Los resultados muestran que la especie presenta en Chile una buena adaptación y potencialidad en la zona estudiada, dado que se cuantificó un crecimiento equivalente al registrado en su zona de origen, a pesar de tratarse de un sitio con importantes limitantes edáficas para la especie.

Junto a ello, se observa que los principios técnicos de la arboricultura extensiva aplicada a la especie son útiles, aun cuando se verifica su susceptibilidad a sufrir desganches que comprometen la calidad de la madera, por lo que se recomienda su establecimiento en plantaciones mixtas.

Palabras clave: Arboricultura, especie exótica, *Liriodendron tulipifera*, madera de alto valor, tulipero, Yellow Poplar.

SUMMARY

The Yellow Poplar behavior in southern Chile was analyzed and its development was compared to that in its natural distribution area, and, at the same time, were studied also the effect of different management practices.

The results show a good adaptation and potentiality of the species in the studied area, its development is similar to that in its natural distribution area, in spite of the bad site quality in the studied area with important soil restrictions to the species.

The usefulness of the extensive arboriculture technical principles applied to the species is verified as well, however some susceptibility to present detached branches tearing the bark in detriment to the wood quality is observed, so its establishment in mixed plantations is recommended.

Key words: Arboriculture, exotic species, *Liriodendron tulipifera*, Yellow Poplar, high quality wood.

⁷ Instituto Forestal, Chile vloewe@infor.cl

INTRODUCCIÓN

Liriodendron tulipifera, conocido como tulipero o *Yellow Poplar*, es un árbol caducifolio, que alcanza alturas entre 24 y 50 m y diámetros de 4 a 5 m, y en casos excepcionales hasta 9 m (Loewe, 2003), con un fuste limpio y recto, y una copa abierta de ramas pequeñas.

Es una especie nativa del este de EEUU y sur de Canadá, que en los montes Apalaches se ubica hasta 300 msnm en el norte y hasta 1.350 msnm en el sur. En Norteamérica se emplea como especie cortaviento y su uso como árbol ornamental es ampliamente difundido en parques públicos, jardines y áreas verdes en general. Esta especie además se encuentra libre del ataque de insectos, pestes y enfermedades graves, característica que la hace aún más apreciada.

En su hábitat natural crece desde el nivel del mar hasta los 1.370 msnm y en zonas montañosas presenta un mejor desarrollo. Prefiere suelos fértiles, frescos, sueltos, de texturas livianas arenosas y areno-arcillosas con drenaje moderadamente bueno, con pH entre 6,1 y 6,5. Puede ser cultivado en lugares húmedos, pero sin estancamiento de agua, aunque puede soportar suelos levemente compactados. No soporta suelos salinos.

Respecto del clima, crece en un rango de temperatura que varía desde -28,9 hasta 37,8°C, con precipitaciones anuales entre 762 y 2.032 mm, presentando buenos rendimientos en zonas con lluvia durante la estación de crecimiento. Las heladas tempranas provocan daño de brotes y las tardías pueden incluso causarle la muerte. Es muy susceptible a daños por incendios, debido a su delgada corteza, y vientos fuertes pueden causar rupturas en la copa.

En Chile se encuentra en la zona centro y centro-sur como árbol ornamental, comúnmente usado en ambientes urbanos por la sombra que genera (Pellegrini *et al.*, 2011) y la belleza de su follaje, condiciones frente a las cuales ha presentado una buena adaptación, probablemente debido a su amplia distribución, ya que el tulipero se desarrolla en una gran variabilidad de condiciones climáticas (Hoffman, 1983; Carnevale, 1955). Las regiones de O'Higgins a Los Ríos son potencialmente aptas para su desarrollo.

En forma natural crece principalmente asociado a *Pinus strobus* y *Tsuga canadensis*, y a algunas especies del género *Quercus*; en las partes altas se asocia con *Quercus rubra*, *Fraxinus americana*, *Prunus serotina*, *Magnolia acuminata*, *Aesculus octandra*, *Fagus grandifolia* y *Acer saccharum*, mientras que en terrenos bajos bien drenados costeros con *Nyssa spp*, *Taxodium distichum*, *Quercus spp* y *Acer rubrum*; en el piedemonte por su parte, se asocia con *Quercus spp*, *Acer rubrum*, *Liquidambar styraciflua*, *Nyssa sylvatica*, *Pinus taeda*, *P. echinata* y *Carya sp*. Bosques puros de tulipero se encuentran en pequeñas proporciones, generalmente en sitios muy productivos.

Su valor radica en ser una importante especie ornamental y en su valor madero, madera de la que se obtienen también los componentes químicos quinina y artemisina, que son un importante componente de productos farmacéuticos, entre ellos para tratar la malaria (Graziose *et al.*, 2011); también se utiliza su madera para biodiesel y otros productos derivados (Kim *et al.*, 2011).

Su madera es liviana y muy fácil de trabajar, pulir, pintar y clavar, de albura blanca y duramen amarillento y hermoso veteado. Recién cortada desprende un olor similar al de la mandarina, que pronto se disipa (Loewe y González, 2004). Su contenido de lignina es del 20,5%, mientras que el de extraíbles alcanza valores de 3,8% y su densidad varía entre 461 y 569 kg/m³ a un contenido de humedad del 12%. Se utiliza principalmente en carpintería, recubrimiento de interiores, chapas, producción de celulosa, muebles, instrumentos musicales, molduras, paneles y otros, como la fabricación de Cement-Excelsior Board, un tipo de panel compuesto de cemento y madera con excelente aislamiento acústico y efecto decorativo. Presenta torceduras en el secado, siendo el principal problema para la producción de madera aserrada.

En Estados Unidos la madera aserrada de tulipero se comercializa como "no selecta por color", estando disponible en variados largos, anchos y grosores, lo que incluye madera

dimensionada o piezas cortadas a la medida. Su precio oscila entre el promedio y los valores más altos para el tipo de producto, por lo que se la considera una madera cara, alcanzando la madera aserrada húmeda valores entre US\$ 250-500/m³, y si es seca entre US\$ 750-800/m³. Los principales mercados de esta madera son Italia, Reino Unido, Japón, Hong Kong, Taiwán y México.

Respecto del mercado nacional, en Chile no existe consumo de madera de tulipero, debido al desconocimiento, a la oferta inexistente y a la reducida demanda por bienes de lujo (Loewe, 1998).

Dado que la especie fue identificada hace unos 20 años como una alternativa para diversificar en el sector forestal chileno, se estableció un ensayo en la zona sur de Chile, cuya evaluación a los 17 años de edad se presenta en este estudio.

MATERIAL Y MÉTODO

En la década de los 90, el Instituto Forestal (INFOR) inició el estudio del tulipero en el marco del proyecto Silvicultura de Especies No Tradicionales, Una Mayor Diversidad Productiva, estableciéndose en 1998 un ensayo de dos orígenes locales, uno de la región de La Araucanía y otro de la región del Bio Bio, para evaluar su adaptación y crecimiento en la zona de Osorno, ubicada en el sur de Chile.

El ensayo se estableció en la comuna de San Juan de la Costa, provincia de Osorno, región de Los Lagos (40°40'56" LS y 73°21'12,7" LO y 198 m de altitud), 823 km al sur de Santiago, en una zona típicamente agrícola y ganadera.

La vegetación de la comuna se caracteriza por su riqueza en bosque nativo valdiviano distribuido principalmente en los sectores altos de la cordillera y en quebradas húmedas y cursos de agua. También destacan plantaciones de pino y eucalipto, que han ido aumentando en los últimos años, lo que explica su actividad económica principal, enfocado en la extracción de madera y producción de celulosa (CONAF, 2015).

Osorno posee un clima templado lluvioso, con una precipitación anual media que alcanza 945,3 mm (Cuadro N° 1) y con un promedio de 4,5 meses secos al año, aunque puede variar entre 3 y 8 meses. Las temperaturas medias de la zona de los últimos 7 años presentan una diferencia moderada entre estaciones del año, con una mínima de -5,7 °C y máxima de 36,3°C.

Cuadro N° 1
SERIES DE TEMPERATURAS Y PRECIPITACIÓN REGISTRADAS EN OSORNO (2009-2015)

Año	Precipitación Anual (mm)	Temperaturas		
		Media Anual (°C)	Mínima Absoluta (°C)	Máxima Absoluta (°C)
2009	261,7	10,7	-2,5	-
2010	978,9	10,3	-5,2	30,9
2011	1110,8	10,7	-4,0	37,0
2012	1086,2	10,8	-4,1	33,4
2013	969,1	11,2	-3,5	35,1
2014	1287,5	10,7	-2,8	32,9
2015	922,7	10,9	-5,7	36,3
Media	945,3	10,8	-4,0	34,3

(Fuente: Red Agrometeorológica de INIA, 2015)

El sitio del ensayo es plano, con un suelo limoso liviano de la serie Trumao, con erosión ligera y buen drenaje. Había sido dedicado a la agricultura en los años previos a la plantación. Presenta reacción neutra (pH 6,0-6,8) y bajo contenido de materia orgánica (entre 0,3 y 1,2%).

Para la instalación del ensayo, el suelo se preparó con un laboreo completo y subsolado en la línea de plantación a una profundidad de 30-40 cm. La plantación se realizó en Julio de 1998, utilizando plantas en macetas de un año de edad compradas en viveros locales, con una altura promedio de unos 40 cm (Loewe *et al.*, 1998), incluyéndose dos orígenes locales; Renaico y Concepción.

Inmediatamente después de la plantación se proporcionó una fertilización de acuerdo a las carencias nutricionales detectadas y se instaló *mulch* plástico para controlar la maleza durante los primeros años.

Los tratamientos culturales repetidos a lo largo de los primeros 15 años consistieron en replante el primer año después de la plantación; podas de formación los años 1, 2, 3, 5 y 7, considerando selección del eje central, eliminación de coronas y de ramas gruesas y muy verticales, y desyemes posteriores; limpiezas alrededor de las plantas los dos primeros años; fertilizaciones anuales hasta el tercer año inclusive (46 kg de supernitro; 125 kg de superfosfato triple; 17 kg de boro; 6 kg de sulfato de Zinc, por hectárea), y raleo el año 7.

El diseño experimental del ensayo fue de tres bloques completos al azar, con parcelas correspondientes a los 2 orígenes (tratamientos) con 64 plantas cada una. En total, consta de 384 plantas más dos filas de borde, con un distanciamiento de 3 x 3 m, ocupando en total una superficie cercana a 1 hectárea.

Desde 1998 y hasta el 2015, se midieron repetidamente el diámetro al cuello (DAC), o diámetro a 1,3 m (DAP) según el desarrollo de las plantas, y la altura total de cada árbol, así como la forma, vigor y estado sanitario. Dichas mediciones se realizaron al establecimiento y a los 1, 2, 3, 5, 14 y 17 años de edad.

Se realizaron análisis de varianza tradicionales y el test de comparación múltiple de Tukey con una probabilidad $P < 0,05$, utilizando el software Infostat versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2013).

En la última evaluación, se evaluó además el vigor de las plantas en tres categorías: 1: Vigoroso; 2: Medianamente vigoroso; 3. Débil; y la forma de las mismas en cuatro categorías: 1: Recto; 2: Ligeramente curvado; 3: curvado y 4: fuertemente curvado.

El análisis de estas variables consideró tablas de contingencia con los estadísticos Chi Cuadrado de Pearson (X^2 Pearson) y Chi Cuadrado de máxima verosimilitud (X^2 MV-G2).

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos sobre la sobrevivencia y desarrollo según la evaluación realizada a los 17 años del establecimiento.

Supervivencia

La supervivencia general del ensayo luego de 17 años fue del 45%. Las plantas provenientes de Concepción tuvieron una mejor respuesta, con valores del 61%, *versus* un 39% en las de Renaico (Figura N° 1), observándose que la mortalidad se concentró en el primer año del establecimiento.

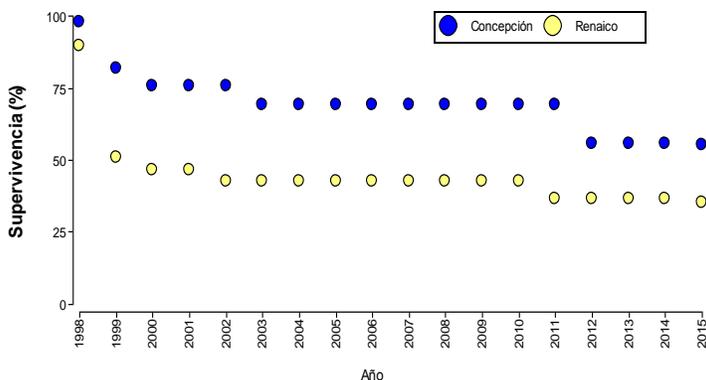


Figura N° 1
SUPERVIVENCIA SEGÚN ORIGEN DE SEMILLA

Crecimiento

A los 17 años, el origen Renaico presenta la mayor altura media, de 12,4 m, casi un metro por sobre la altura media del origen Concepción (Figura N° 2, Cuadro N° 2).

Desde la plantación, el incremento en altura fue superior en el origen Renaico (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 2
EVOLUCIÓN DE LA ALTURA SEGÚN AÑO Y ORIGEN

Origen	1998	1999	2000	2001	2003	2012	2015
	(m)						
Renaico	0,15±0,01 b	0,36±0,02 a	0,96±0,03 a	1,36±0,06 a	3,36±0,07 a	10,18±0,19 a	12,42±0,17 a
Concepción	0,27±0,01 a	0,33±0,01 a	0,68±0,02 b	1,20±0,05 b	2,58±0,06 b	9,72±0,14 a	11,45±0,13 b
Media	0,21	0,35	0,82	1,28	2,97	9,95	11,83

Letras distintas indican diferencias significativas (P<0,05)

Cuadro N° 3
INCREMENTO MEDIO ANUAL EN ALTURA

Origen	Incremento Altura (m/año)
Renaico	0,73 ± 0,01 a
Concepción	0,67 ± 0,01 b
Media	0,7 ± 0,01

Letras distintas indican diferencias significativas (P<0,05)

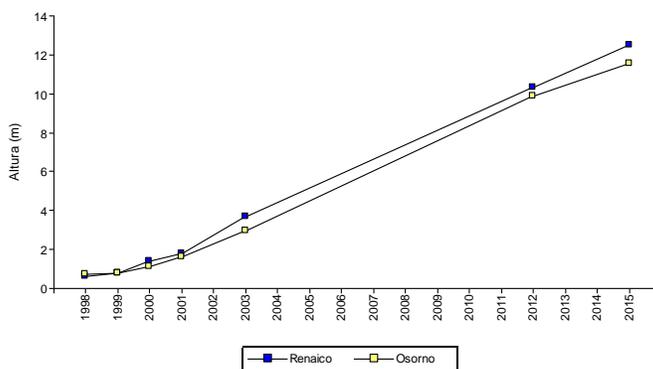


Figura N° 2
EVOLUCIÓN DE LA ALTURA SEGÚN ORIGEN DE SEMILLA

Respecto del diámetro, el diámetro al cuello (DAC) al momento de la plantación era superior en el origen Concepción; sin embargo ya al año siguiente las plantas de Renaico presentaron mayores valores, estadísticamente superiores, presentando este origen el mayor crecimiento inicial. En la última evaluación de esta variable, al tercer año desde la plantación, las plantas de ambos orígenes fueron iguales, con valores de 3,2 y 3,1 cm, respectivamente (Cuadro N° 4, Figura N° 3). Los incrementos medios anuales para esta variable fueron similares, con valores de 0,8 cm para ambos orígenes.

Cuadro N° 4
EVOLUCIÓN DEL DAC SEGÚN AÑO Y ORIGEN

Origen	1998	1999	2000	2001
	(cm)			
Renaico	0,41± 0,01 b	0,95± 0,03 a	2,10± 0,06 a	3,15± 0,12 a
Concepción	0,52± 0,01 a	0,77± 0,03 b	1,66± 0,05 b	3,12± 0,10 a
Media	0,46 ± 0,01	0,84± 0,02	1,83± 0,04	3,13± 0,08

Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

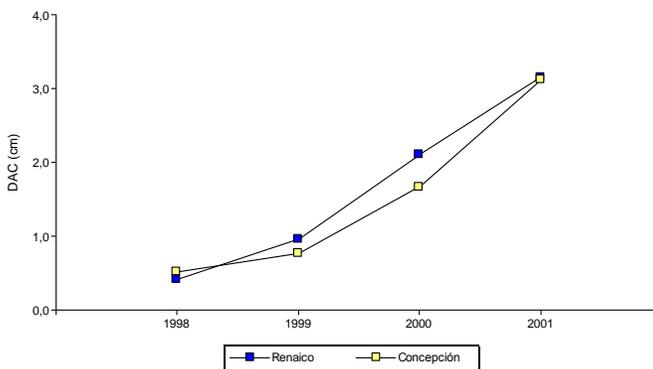


Figura N° 3
EVOLUCIÓN DEL DAC SEGÚN ORIGEN DE SEMILLA

Respecto del diámetro a 1,3 m de altura (DAP), a los 17 años alcanzó un valor medio de 19,7 cm, habiendo las plantas de Renaico alcanzado 21 cm, 2 cm por sobre las de Concepción (Cuadro N° 5, Figura N° 4).

El incremento medio anual en DAP fue superior en el origen Renaico (Cuadro N° 6).

Cuadro N° 5
EVOLUCIÓN DEL DAP SEGÚN AÑO Y ORIGEN

Origen	2001	2003	2012	2015
	(cm)			
Renaico	1,23±0,06 a	3,61±0,13 a	17,88±0,34 a	20,98±0,39 a
Concepción	0,73±0,06 b	2,36±0,10 b	16,31±0,27 b	18,89±0,31 b
Media	0,99±0,05	2,84 ±0,09	16,93±0,22	19,70±0,25

Letras distintas indican diferencias significativas (P<0,05)

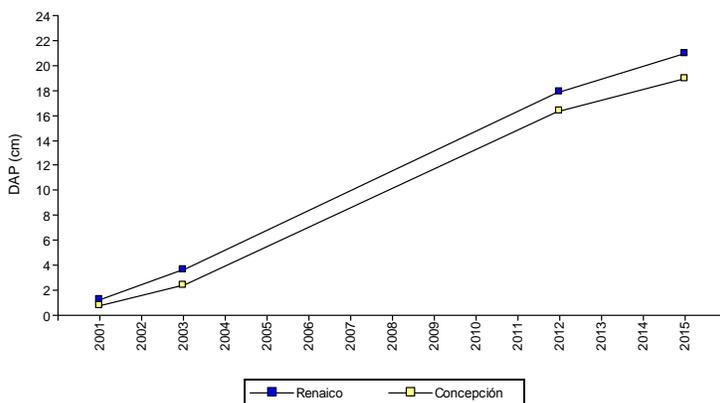


Figura N° 4
EVOLUCIÓN DEL DAP SEGÚN ORIGEN DE SEMILLA

Cuadro N° 6
INCREMENTO MEDIO ANUAL DEL DAP SEGÚN ORIGEN

Origen	DAP (cm/año)
Renaico	1,23±0,02 a
Concepción	1,11±0,02 b
Media	1,17±0,02

Letras distintas indican diferencias significativas (P<0,05)

Vigor y Rectitud

El vigor de la mayoría de las plantas de ambos orígenes es medio, no se aprecian plantas de vigor elevado (Cuadro N° 7) y no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre ambos orígenes.

Cuadro N° 7
FRECUENCIA ABSOLUTA Y PORCENTUAL DEL VIGOR DE INDIVIDUOS SEGÚN ORIGEN
17 AÑOS DE EDAD

Origen	Vigor Medio		Vigor Bajo		Total	
	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)
Renaico	64	94,1	4	5,9	68	100
Concepción	96	90,6	10	9,4	106	100
Total	160	92,0	14	8,0	174	100

En lo que se refiere a la rectitud o forma, un 90% de las plantas son ligeramente curvadas, no existen plantas rectas. Las plantas provenientes de Concepción presentaron peor forma (Cuadro N° 8), pero sin diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro N° 8
FRECUENCIA ABSOLUTA Y PORCENTUAL DE LA RECTITUD DE INDIVIDUOS SEGÚN ORIGEN
17 AÑOS DE EDAD

Origen	Vigor Medio		Vigor Bajo		Total	
	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)
Renaico	62	91,2	6	8,8	68	100
Concepción	96	90,6	10	9,4	106	100
Total	158	91,0	16	9,0	174	100

DISCUSIÓN

Tulipero es una especie que se ve favorecida en sitios ubicados en fondos de valles y planicies húmedas, adaptándose también a piedemontes y colinas. Soporta tanto suelos ácidos como básicos, pero son una limitante los suelos muy delgados (IPLA, 2001). En este estudio tulipero se encuentra en un suelo pobre y delgado (CTSyc, s.f), lo que incidió en su sobrevivencia y crecimiento. Exposiciones soleadas resultan fuertemente limitantes y una marcada sequía estival y baja precipitación anual también constituyen limitantes parciales. Al respecto, las precipitaciones en el área de estudio no son bajas en términos anuales, pero si en el período estival, lo que junto a la fuerte insolación constituyen elementos desfavorables para el crecimiento y desarrollo de la especie.

A pesar de lo anterior, el crecimiento observado en esta experiencia es similar al obtenido en Estados Unidos (Loewe *et al.*, 2013), donde según diferentes calidades de sitio puede crecer entre 60 y 93 cm anuales en altura y 0,85 - 1,25 cm anuales en DAP (Beck, s.f.), presentando un crecimiento superior al de otras especies, como *Acer rubrum* y *A. saccharum* (Hart *et al.*, 2010). En esta experiencia y pese a las limitaciones del sitio, se alcanzaron crecimientos interesantes (Figura N° 5), con valores de 67 - 73 cm/año en altura y 1,1 - 1,2 cm/año en DAP. Clatterbuck (2004), en plantaciones de 9-18 años midió crecimiento anuales en altura de 1,2 - 1,3 m/año y en diámetro entre 1,1 y 1,6 cm/año, creciendo los individuos de Osorno menos en altura, pero en forma similar en diámetro.



Figura N° 5
VISTA GENERAL DEL ENSAYO A LOS 7 Y 14 AÑOS DE EDAD

Un aspecto que determina el éxito de la plantación es la calidad de las plantas y la época de plantación, dado que se trata de una especie sensible al trasplante, recomendándose el uso de plantas a raíz desnuda de 30 a 50 cm de altura, así como también realizar la plantación oportunamente, en otoño o invierno. En este ensayo se utilizaron plantas en maceta de una temporada, de 40 cm de alto, bien conformadas, y la plantación se realizó en el mes de julio, por lo que estas variables no son las que determinaron una baja supervivencia.

Las densidades recomendadas fluctúan entre 2 x 2 y 4 x 4 m para fines de producción de madera, ya que con distanciamientos mayores se producen árboles “lobo”, es decir, con gran cantidad de brotes epicórmicos debido a la elevada luminosidad disponible alrededor de los fustes, los que reducen la calidad de la madera. En este ensayo se empleó un distanciamiento intermedio, de 3 x 3 m, y por lo tanto adecuado.

En bosques mixtos, tulipero se asocia con algunos robles (*Quercus spp.*), liquidambar (*Liquidambar styraciflua*), arce rojo (*Acer rubrum*), cerezo americano (*Prunus serotina*) y otras (Loewe *et al.*, 2013), siendo una especie que germina bajo cobertura, ya sea a principios de la sucesión o en claros, pero que debido a su condición de intolerancia a la sombra, necesita una

apertura del dosel durante los primeros años de crecimiento, considerando su rápido desarrollo.

En ejemplares de cerca de 30 años, cuyas copas se habían liberado por medio de raleos, se obtuvo una respuesta significativa en crecimiento en diámetro, con un impacto que supera el 40% y alcanza hasta 88% del incremento radial en comparación a años anteriores. Adicionalmente, se observó que los árboles más jóvenes pueden aprovechar mejor un aumento de la disponibilidad lumínica en comparación con árboles de mayor edad (Sonderman, 1985; Hart *et al.*, 2010), lo que indicaría la conveniencia de hacer raleos suaves y más frecuentes durante la etapa juvenil, moderación que permitiría mantener el rodal lo suficientemente cerrado y, de esa manera, evitar la aparición de brotes epicórmicos. La especie presenta buena poda natural, excepto cuando los árboles se encuentran muy distanciados.

No obstante lo anterior, se observó que la especie es fuertemente sensible a desganches por viento, registrándose numerosos individuos con daños por viento en la copa, con ramas y ápices quebrados y desganchados; ello concuerda con Brach y Kremer (1998), quienes señalan que el viento y la nieve producen este tipo de daños. Por este motivo, establecer la especie en plantaciones mixtas constituye una alternativa para resolver este problema, con las conocidas ventajas de estos sistemas productivos (Loewe y González, 2006), ya que si se establecen y mantienen adecuadamente facilitan las técnicas de manejo, mejoran la calidad de la madera y la productividad, junto con incrementar el valor estético del paisaje (Buresti, 1995; Binkley, 2003; Pretzsch y Schütze, 2009; Hung *et al.*, 2011).

Brach y Kremer (1998) indican que la especie presenta rectitud y dominancia apical aun cuando ciertos orígenes presentan defectos como bifurcaciones. En este estudio, sin embargo, se evidenció que aun presentando dominancia apical, la mayoría de los individuos no son rectos sino que ligeramente curvados, probablemente debido al viento imperante.

Respecto a la genética de la especie, se conocen 14 variedades de tulipero, encontrándose que las diferencias entre poblaciones y el polimorfismo son bastante notables debido a la amplitud de la zona de origen, que permite una elevada variabilidad al interior de la especie, suficiente para obtener poblaciones adaptadas a diferentes regiones (Fowells, 1965; Olson, 1969; Beck y Della Bianca, 1981).

Concordando con lo anterior, en este ensayo hubo diferencias significativas entre orígenes en las variables evaluadas, presentando un mejor desarrollo el origen Renaico.

CONCLUSIONES

Si bien en Chile tulipero se encuentra desde la zona central hasta el sur del país como árbol ornamental, en el sitio probado, Osorno, presenta un interesante crecimiento, pese a que las condiciones del sitio presentan limitantes a su desarrollo, lo que constituye un indicador del potencial de desarrollo en Chile.

El origen Renaico presentó los mejores crecimientos sostenidos en el tiempo. A los 17 años, la altura media alcanzada es de 12,4 m para Renaico y 11,5 m para Concepción, y el diámetro medio alcanza 21 y 19 cm, respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango de crecimiento que presenta la especie en su distribución natural en Norteamérica. No obstante ello, las plantas del origen Concepción presentaron mayor supervivencia y vigor, lo que constata la variabilidad característica de la especie.

A nivel mundial existe una demanda insatisfecha importante por madera de calidad, razón por la que, dadas las condiciones ambientales de Chile y el conocimiento para producir madera de calidad en rotaciones de 25 a 40 años, el tulipero puede ser considerado como una alternativa productiva si se lo cultiva con criterios orientados a obtener madera de calidad, para lo cual se recomienda su establecimiento en plantaciones mixtas a fin de evitar desganches por viento que reducen la calidad de la madera.

RECONOCIMIENTOS

El presente estudio se enmarca dentro del conjunto de estudios que el Ministerio de Agricultura ha encargado a INFOR. El establecimiento del ensayo se realizó en el marco del proyecto Silvicultura de Especies No Tradicionales, Una Mayor Diversidad Productiva financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y por el sector privado. Se agradece también al propietario que puso a disposición el terreno para el ensayo y ha velado por su cuidado durante casi dos décadas.

REFERENCIAS

Beck, D. E. and Della Bianca, L., 1981. Yellow Poplar, characteristics and management. U.S. Department of agriculture, Forest Service, Agricultural Handbook No 583. 91 p.

Beck, D. E. (s.f.). *Liriodendron tulipifera*. [En línea] http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics_manual/volume_2/liriodendron/tulipifera.htm [Revisado: 14/12/2015].

Binkley, D., 2003. Seven decades of stand development in mixed and pure stands of conifers and N-fixing Red Alder. Canadian Journal of Forest Research 33: 2274-2279.

Brach, J. et Kremer, A., 1998. *Liriodendron* - Tulipier. Les ressources génétiques forestieres en France, tome 2: les feuillus. Pp. 137-143.

Buresti, E., 1995. Walnut trees in mixed stands with shrubs and trees. In: "European development of Walnut and fruit production as an alternative and extensive system to agricultural crops". Workshop of EU AIR/Walnut Project, March 27-30, 1995. Thessaloniki, Greece.

Carnevale, J., 1955. Arboles forestales; descripción, cultivo y utilización. 3a edición. Ed. Hachette S.A. Buenos Aires, Argentina. 689 p.

Clatterbuck, W. K., 2004. Growth and development of Yellow Poplar plantations on three sites ranging from 9 to 18 years. En: Connor, Kristina F., Ed. 2004. Proceedings of the 12th biennial southern silvicultural research conference. Gen. Tech. Rep. SRS-71. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 594 p.

CONAF, 2015. Corporación Nacional Forestal, región de los Ríos. [En línea] <http://www.conaf.cl/conaf-en-regiones/los-rios/> [Revisado: 21/9/2015]

CTSYC, s.f. Mapa de suelos y climas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. [En línea] <http://www.ctsyc.cl/> [Revisado: 15/9/2015]

Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W., 2013. InfoStat version 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Fowells, H. A., 1965. Silvics of forest trees of the United States. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Agricultural Handbook N° 271. 762 p.

Graziose, R.; Rathinasabapathy, T.; Lategan, C.; Poulev, A.; Smith, P. J.; Grace, M. and Raskin, I., 2011. Antiplasmodial activity of aporphine alkaloids and sesquiterpene lactones from *Liriodendron tulipifera* L. Journal of Ethnopharmacology, 133 (1), 26-30.

Hart, J. L.; Austin, D. A. and van de Gevel, S. L., 2010. Radial growth responses of tree co-occurring species to small canopy disturbances in a secondary hardwood forest on the Cumberland Plateau, Tennessee. Physical Geography 31: 270-291.

Hoffmann, A., 1983. El árbol urbano en Chile. Ediciones Fundación Claudio Gay. 255 p.

Hung, T. D.; Herbohn, J. L.; Lamb, D. and Nhan, H. D., 2011. Growth and production varies between pair-wise mixtures and monoculture plantations in North Viet Nam. Forest Ecology and Management 262: 440-448.

IPLA, 2001. Arboricoltura da Legno. Guida alla realizzazione e alla gestione degli impianti.

Kim, K. H.; Eom, I. Y.; Lee, S. M.; Choi, D.; Yeo, H.; Choi, I. G., and Choi, J. W., 2011. Investigation of

physicochemical properties of bio oils produced from Yellow Poplar wood (*Liriodendron tulipifera*) at various temperatures and residence times. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 92 (1), 2-9.

Loewe, M. V., 1998. Antecedentes de mercado de especies promisorias para Chile (aliso común, aliso rojo, arce, avellano, castaño, cerezo, encino rojo, fresno, grevillea, liquidambar, nogal común, nogal negro, pino piñonero, tulipero). Valdivia, Chile, INFOR. 132 p. Documento de Trabajo Nº 599.

Loewe, M. V., 2003. Nogal negro, Liquidambar y Tulipero, nuevas alternativas para producir maderas de alto valor. INFOR-FIA, 213 p.

Loewe, M. V. y González, O. M., 2004. Tulipero: plasticidad, durabilidad y calidad. Chile Forestal 305: 52-55.

Loewe, M. V. y González, O. M., 2006. Plantaciones Mixtas, Un modelo productivo con potencial para Chile. INFOR-FIA, 299 p.

Loewe, M. V.; González, M.; Villarroel, A. y Barrales, L., 1998. Silvicultura de especies no tradicionales: una mayor diversidad productiva.

Loewe, M. V.; Álvarez, D. A. and Barrales, L., 2013. Growth development of hardwood high value timber species in central south Chile, South America. Proceedings International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP), Pp. 50-61. Florencia, Italia, 7-9 Octubre 2013.

Olson, D. F., 1969. Silvicultural characteristics of Yellow Poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeast Forest Experimental Station, Research paper SE 48, No 89. 16 p.

Pellegrini, E.; Francini, A.; Lorenzini, G. and Nali, C., 2011. PSII photochemistry and carboxylation efficiency in *Liriodendron tulipifera* under ozone exposure. Elsevier, 70, 217-226.

Pretzsch, H. and Schütze, G., 2009. Transgressive over yielding in mixed compared with pure stands of Norway Spruce and European Beech in Central Europe: Evidence on stand level and explanation on individual tree level. European Journal of Forest Research 128: 183-204.

Sonderman, D. L., 1985. Stand Density- A factor affecting steam quality of young hardwoods. United States Department of Agriculture. Research Paper NE-561.

RESUMEN

Después de siglos de destrucción de bosques a partir del siglo 20 comienza la recuperación de una superficie importante, destacando las plantaciones forestales con más de 2,4 millones de hectáreas. Estas plantaciones son propiedad en un 62% de grandes y medianas empresas, mientras que el 38% restante es de medianos y pequeños propietarios. Dominan en un 93% de esta superficie plantada *Pinus radiata* y dos especies del género *Eucalyptus* (*E. globulus* y *E. nitens*). Este patrimonio ha generado ingresos por exportaciones anuales que bordean los seis mil millones de dólares, siendo un pilar importante para la economía nacional.

Todo indica que se inicia un nuevo ciclo de forestación, que esta vez debe quedar concentrado en las propiedades medianas y pequeñas, que son las dueñas de las cerca de 2,6 millones de hectáreas que aún deberían ser forestadas. Este desafío implica un decidido apoyo forestador del Estado, acompañado con programas de capacitación, extensión e incentivos que hagan factible su realización. Además se deberán tomar en cuenta nuevas tareas, como son la planificación territorial, la restauración, la producción industrial, la asociatividad, la agroforestería, el comercio justo, la multifuncionalidad del bosque y los productos forestales no madereros, entre otras, para cumplir con las expectativas creadas por la recién diseñada política forestal para los años 2015-2035.

Palabras clave: Forestación, segunda etapa forestadora, nuevos desafíos ambientales y productivos.

SUMMARY

After centuries of forest destruction from the 20th century it began the recovery of a large area, highlighting forest plantations with more than 2.4 million hectares. Those plantations are owned by 62% by large and medium-sized enterprises, while the remaining 38% by medium and small owners. Planted forests are dominated with 93% by *Pinus radiata* and two species of the *Eucalyptus* genus (*E. globulus* and *E. nitens*). This patrimony generates annual export revenues close to six billion dollars, being an important pillar for the national economy.

A new afforestation cycle is foreseen and this time has to be focused on small and medium properties, which are the owners of the nearly 2.6 million hectares that should still be afforested. This challenge requires a resolute afforestation State support, together with training programs, extension and incentives to make it feasible. In addition, should take into account new tasks, such as territorial planning, restoration, industrial production, associativity, agroforestry, fair trade, forest multifunctionality, non-timber forest products and others to meet the expectations created by the newly designed forest policy for the period 2015-2035.

Keywords: Afforestation, second stage afforestation program, new environmental and production challenges.

INTRODUCCION

Durante parte de la época de la colonia y posteriormente durante la Conquista y la República, Chile ha sufrido severas deforestaciones, las cuales afectaron los bosques nativos que originalmente cubrían cerca de 24 millones de hectáreas, reduciendo esta superficie a 10 millones de hectáreas al año 1912 (Otero, 2006). Principales causas de esto eran por una parte la minería en la zona norte que requería combustible para sus hornos y por otra la agricultura y ganadería que intentaban ganarse espacio en gran medida en suelos de fuertes pendientes a través de roces con fuego.

El resultado fue grandes pérdidas de bosques y de suelos víctimas de la erosión, primero en aquellos territorios de la zona central en los que se comenzaron a asentar los españoles; regiones de Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins, Maule y norte de Bio Bio. Siguió los bosques de las regiones de Aysén y Magallanes. Como resultado de estas prácticas, muy bien descritas por Elizalde (1958), los terrenos se hicieron inútiles o limitados para las prácticas agrícolas y pecuarias, lo que llevó al empobrecimiento de la población en el campo y a una significativa migración de esta hacia las grandes ciudades en busca de mejores oportunidades.

La reacción del país frente al problema planteado fue lenta y tomó más de un siglo, desde las primeras advertencias formuladas por Claudio Gay (1838) hasta la generación del primer esfuerzo regulatorio relativamente exitoso con la ley de bosques del año 1931. Desde esa fecha los esfuerzos públicos y privados se fueron multiplicando en favor de cubrir nuevamente áreas deforestadas con árboles de característica pionera capaces de crecer con éxito en suelos descubiertos y empobrecidos. Cabe mencionar que, debido a las alteradas y empobrecidas condiciones de los sitios deforestados, la regeneración de las especies nativas o el establecimiento de plantaciones con ellas resultaban muy difíciles.

Durante la segunda mitad del siglo XX el Estado toma un rol protagónico al realizar plantaciones e instalar industrias forestales en paralelo a algunos esfuerzos privados. A partir de la instalación de la economía libre de mercado este rol estatal se torna subsidiario, y se inicia la bonificación a las actividades forestadoras de los privados a través del DL 701 entre los años 1974 y 2012, que alcanza a alrededor de la mitad de la superficie plantada.

Como resultado de todos estos esfuerzos las plantaciones se multiplicaron y se han convertido junto a las industrias asociadas en una importante actividad económica del país, exportando cerca de seis mil millones de US\$ al año, además de las ventas nacionales (INFOR, 2015).

Los esfuerzos por cuidar e incrementar la superficie forestal del país llevó al aumento de la superficie de bosque nativo, que registra 14,32 millones de hectáreas al año 2014 marcando una diferencia con la estimación para el año 1912 de 4,32 millones de hectáreas, gracias al surgimiento de bosques secundarios regenerados por rebrotes desde el tocón (monte bajo). A esta superficie se han agregado también 2,43 millones de hectáreas de plantaciones, completando una cubierta forestal nacional cercana ya a los 17 millones de hectáreas (INFOR, 2015b).

PLANTACIONES FORESTALES

El rápido incremento de las plantaciones forestales desde principios de los años 70 y el fuerte desarrollo de la industria asociada a este recurso ha puesto al país en una situación que es mundialmente competitiva en la comercialización de productos forestales.

Superficie de Plantaciones Forestales

La superficie de plantaciones forestales a diciembre de 2014 es de 2,43 millones de hectáreas y está compuesta en un 59,1% por plantaciones de *Pinus radiata*, 23,6% de *Eucalyptus globulus*, 10,5% de *Eucalyptus nitens* y 6,8% de varias otras especies (Cuadro N° 1).

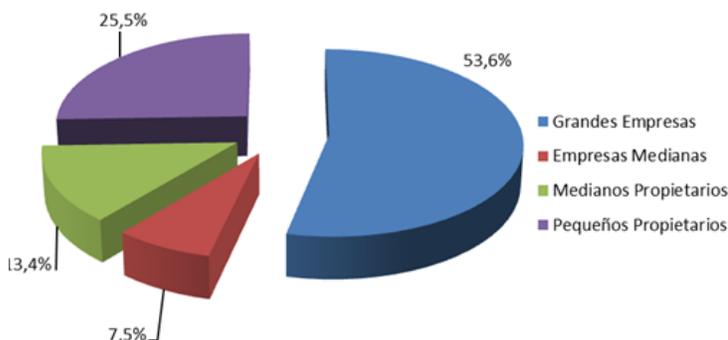
Cuadro N° 1
SUPERFICIE PLANTADA POR ESPECIE
(2014)

Especie	Superficie	
	(ha)	(%)
<i>Pinus radiata</i>	1.434.085	59,1
<i>Eucalyptus globulus</i>	573.602	23,6
<i>Eucalyptus nitens</i>	255.126	10,5
<i>Atriplex spp.</i>	60.772	2,5
<i>Pinus ponderosa</i>	25.287	1,0
<i>Pseudotsuga menziessi</i>	17.148	0,7
Otras Especies	60.703	2,5
Total	2.426.723	100,0

(Fuente: INFOR, 2015)

Propiedad

La propiedad de las plantaciones se concentra en un 53,6% en empresas grandes que básicamente son tres. Si a estas se agregan las de tamaño mediano la superficie corresponde a 61,1% (INFOR, 2015a). Si el análisis se concentra exclusivamente en las plantaciones de pino radiata y eucaliptos la participación de las grandes empresas corresponde al 60,1%, la de las medianas empresas a 6,5%, la de medianos propietarios a 11,2% y la de pequeños propietarios 22,2%. Esto significa que la suma de estos dos últimos da un 33,3% (808.098 ha) (INFOR, 2013), los cuales han plantado, comparativamente con las grandes y medianas empresas, en los peores sitios, y a esto se agregan serios problemas tecnológicos en el manejo de las plantaciones, desde la calidad genética de la semilla y la calidad morfológica y fisiológica de las plantas empleadas hasta los esquemas silviculturales aplicados, como la extensión del periodo de rotación, que en muchos caso no permiten optimizar la rentabilidad de la inversión (Grosse y Gysling, 2014).



(Fuente: INFOR, 2015a)

Figura N° 1
AREA PLANTADA POR TAMAÑO DE PROPIEDAD

Tendencia de la Forestación

Desde un máximo de forestación en el presente siglo en el año 2005, con 73.306 ha, las tasas de forestación se han reducido sostenidamente, llegando en el año 2014 a tan solo 4.529 ha. Para el año 2016 las tasas esperables son aún más bajas, al no contarse con incentivos para este fin. La reforestación por su parte ha respondido en términos de que las áreas cosechadas se reponen, tal como lo establece la legislación vigente (Figura N° 2).

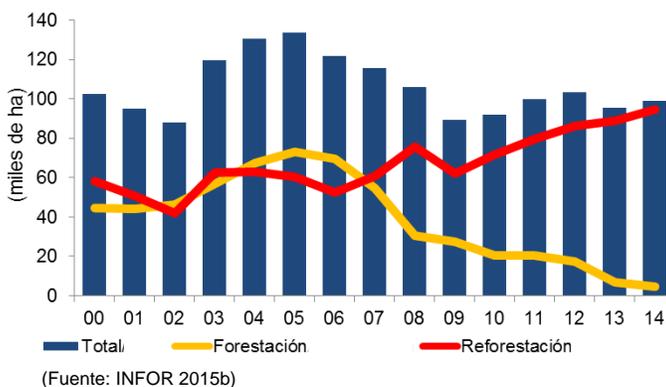


Figura N° 2
SUPERFICIE ANUAL DE PLANTACIONES FORESTALES
FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN AÑOS 2000 - 2014

Históricamente, las grandes y medianas empresas han sido las que han realizado la mayor parte de las plantaciones, mientras que los pequeños y medianos propietarios han participado en medida mucho menor.

Si bien con la modificación del DL 701 en el año 1998, con la promulgación de la Ley 19.561, se logra aumentar la forestación en este segmento de propietarios, no se pudieron mantener las tasas de plantación.

ÁREAS POTENCIALES PARA FORESTACIÓN

Dadas las bajas tasas de forestación cabe la pregunta sobre qué tanto terreno existe en el país para nuevas plantaciones. Si bien es bastante claro que gran parte de los sitios de mayor rendimiento fueron priorizados en las compras de las grandes empresas, se debe analizar los suelos aún disponibles, dónde se ubican, quienes son los propietarios, en qué estado están en materia de erosión y cómo recuperarlos con fines productivos, sociales y ambientales.

Situación Nacional

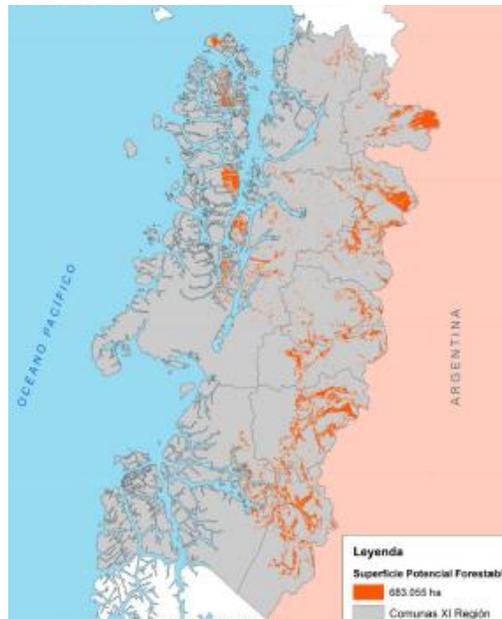
La superficie potencialmente disponible para forestación entre las Regiones de O'Higgins y Aysén correspondería a 2.630.210 ha (Beltrán, 2013). Esta estimación consideró los suelos de secano no arables de Clases de Capacidad de Uso V, VI, VII y VIII, sin cobertura de plantaciones ni de bosque nativo, y las variables físicas pendiente, exposición, altitud y grado de erosión (Cuadro N° 2).

La región con el mayor potencial forestable es la de Aysén (Figura N° 3), con el 26% de la superficie total (683.055 ha), seguida por la región de La Araucanía, con un 20,9% (550.271 ha) y la del Bio Bio, con un 15,6% (410.536 ha). Las otras cuatro regiones suman el 37,5%.

Cuadro N° 2
SUPERFICIE POTENCIALMENTE FORESTABLE POR REGIÓN

Región	Superficie Potencialmente Forestable	
	(ha)	(%)
O'Higgins	288.261	11,0
Maule	294.152	11,2
Bio Bio	410.536	15,6
La Araucanía	550.271	20,9
Los Ríos	65.593	2,5
Los Lagos	338.342	12,9
Aysén	683.055	26,0
Total	2.630.210	100,0

(Fuente: Beltrán, 2013)



(Fuente: Beltrán, 2013)

Figura N° 3
SUPERFICIE POTENCIALMENTE FORESTABLE
REGIÓN DE AYSÉN

Si bien los filtros utilizados para la estimación pueden ser ampliados a otras variables aquí no consideradas, al menos se obtiene una visión preliminar de lo que aún debería plantarse.

Interesante resulta apreciar que la superficie potencialmente forestable, 2,6 millones de hectáreas, supera en unas 200 mil hectáreas a la superficie actualmente plantada en el país, en consecuencia esta podría ser duplicada con todos los beneficios económicos, sociales y ambientales asociados. Una enorme tarea pendiente y un gran desafío sectorial sin ninguna duda.

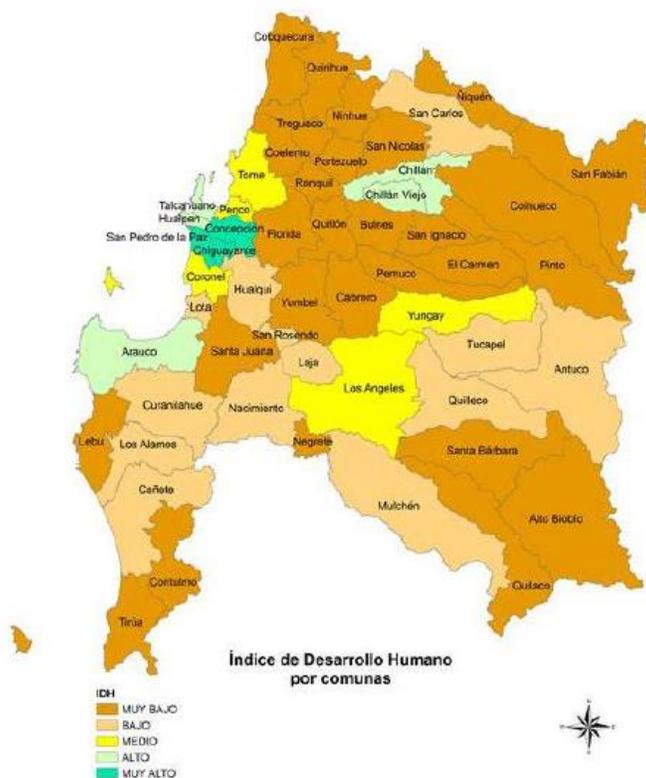
Situación Región del Bio Bio

Un estudio del Instituto Forestal en la Región del Bio Bio indica que la superficie potencialmente disponible para la forestación en la región es de 351.540 ha (Ávila y Muñoz, 2014). Esta cifra es un 14,4% menor a la indicada por Beltrán (2013).

Más allá de analizar la diferencia, que para estudios a gran escala puede aparecer pequeña, el estudio de Ávila y Muñoz (2014) agrega variables adicionales, relacionando las superficies potencialmente forestables con serios problemas expresados a través del índice de desarrollo humano (IDH) y altos grados de erosión de suelos.

Es así como, las comunas con IDH muy bajo y bajo tienen el 83,2% de la superficie potencialmente forestable (Figura N° 4), y tan solo en las provincias de Ñuble y Bio Bio sobre un tercio de la superficie potencialmente disponible para la forestación está dada por suelos con erosión severa a muy severa.

Otros ejemplos con superficie potencialmente mayor a diez mil ha por comuna, con IDH muy bajo son las comunas de Yumbel, Santa Juana, Quillón, Ninhue y Tirúa, conocidas por sus altos índices de erosión.



(Fuente: Ávila y Muñoz, 2014)

Figura N° 4
INDICE DE DESARROLLO HUMANO POR COMUNAS

EL GRUPO OBJETIVO Y COMO OPTIMIZAR LAS FUNCIONES ECONÓMICO SOCIALES Y AMBIENTALES DE LAS PLANTACIONES

Las cifras indicadas en el punto anterior dejan claro que en Chile se debe seguir forestando. Es muy probable que la superficie potencialmente disponible para forestación sea menor en la práctica debido a diferentes factores, como tipo de propiedad, problemas de título de dominio, conflictos de propiedad, uso actual del suelo, limitantes climáticas o de suelos y otros, sin embargo, aún así el desafío es sin duda enorme.

Durante la vigencia del DL 701 las plantaciones fueron fundamentalmente de *Pinus radiata* y de dos especies del género *Eucalyptus*, ocupando en su conjunto el 93,2% de la superficie forestada, y su orientación fue básicamente el abastecimiento de las industrias de pulpa y aserrío. Los dueños de las plantaciones son en un 60,1% grandes y medianas empresas con plantas industriales asociadas y el 39,9% restante corresponde a medianos y pequeños propietarios que básicamente no son dueños de plantas industriales.

Las plantaciones de los medianos y pequeños propietarios se encuentran en sitios bastante más precarios que los de las grandes y medianas empresas, adoleciendo los primeros además de la falta generalizada de capacitación e información estratégica para optimizar la rentabilidad de sus plantaciones. A esto se agregaron desde un comienzo recursos reducidos para forestar, castigados en muchos casos por un crédito de enlace, lo que llevó a la adquisición de plantas de escasa calidad y a la práctica de faenas de establecimiento técnicamente insuficientes, situación que, unida a la falta o deficiencias de manejo silvícola, los proyecta a futuro a rendimientos muy por debajo de los potenciales.

Se suman a lo anterior ventas de los productos realizadas de manera anticipada y ventas a precios que en muchos casos están por debajo de la media del mercado. Estas situaciones han llevado a un desaliento de estos propietarios para seguir adelante con iniciativas forestadoras.

Malas experiencias del pasado deben generar la base para propuestas nuevas que lleven a programas exitosos y para ello se deben tomar en consideración una serie de factores que podrían inducir cambios positivos.

Dentro del marco del análisis realizado por la Comisión Pyme, bajo el alero del Consejo de Política Forestal (CPF) durante el segundo semestre del año 2015, destacan algunos temas que orientan nuevas plantaciones los cuales son revisados en los puntos siguientes.

Nuevas Formaciones Forestales para Resolver Problemas Económicos, Sociales y Ambientales

La generación de nuevas formaciones forestales (bosques naturales o plantados) requiere del diseño de nuevos instrumentos de fomento silvícola (públicos y privados). Estos deben incluir opciones como una nueva ley de fomento forestal (orientada a la mediana y pequeña propiedad con el objetivo de prevenir la degradación de los suelos, contribuir al ciclo hidrológico, al desarrollo sustentable, a la participación efectiva en la matriz energética y a la superación de la pobreza rural, apoyando las acciones vía pago de incentivos), opciones privadas (como fondos de inversión privados), plantación y manejo directo del Estado entre otras. Para su éxito se deben considerar:

- Incentivos basados en costos reales de plantación y manejo para la captura de valor.
- Fomento al manejo, e incentivar la corta o cosecha a la edad de madurez económica.
- Debida consideración de las nuevas tendencias; avances tecnológicos como la nanotecnología, la energía, especies multipropósito, el componente ambiental, las características regionales, la potencialidad de los suelos involucrados y otras.

Obtención de Madera de Calidad de los Bosques

Existe reconocimiento que una parte considerable de los bosques y plantaciones de pino radiata manejados por medianos y pequeños propietarios forestales no tienen las condiciones de calidad necesarias para la obtención de madera aserrable. Esto debe ser revertido dado que la tendencia de los mercados es a mayor exigencia de calidad, lo que significa que los incentivos del Estado deberán estar alineados a esa tendencia.

Reconociendo que se requerirá madera de alta calidad a futuro, se deben definir los esquemas de manejo que posibiliten esto. Los esquemas no solo deberán definirse y aplicarse para pino radiata sino que también para otras especies madereras tanto exóticas como del bosque nativo, lo que debe ir asociado a propuestas de fomento para lograr los objetivos que se planteen.

Vislumbrando los mercados a futuro, se debe generar continuamente información estratégica (económica y silvícola) para que los propietarios forestales optimicen sus decisiones técnicas, económicas y comerciales.

Diversificación de Especies

Históricamente la política de fomento a las plantaciones forestales ha considerado la diversificación de las especies, sin embargo, los resultados muestran que la mayor parte de las plantaciones se concentra en una sola especie, el pino radiata, seguido por dos especies del género *Eucalyptus*.

A su vez y como consecuencia de lo anterior, la industria del aserrío se ha especializado en el procesamiento de esta especie principal y en la actualidad no cuenta con las condiciones que le permitan sin gran dificultad ampliar, adecuar o cambiar sus procesos para el tratamiento de otro tipo de madera.

Para entender de mejor manera este fenómeno de concentración, y con la finalidad de potenciar programas de diversificación de especies forestales, se hace necesario evaluar el impacto de los instrumentos anteriores aplicados específicamente para la diversificación, considerando para la toma de decisión por cuales especies optar y los casos exitosos y no exitosos en este desarrollo. Específicamente se debe realizar el estudio de las perspectivas de mercado, demanda futura, factibilidad técnica, económica y financiera para las actuales y potenciales especies forestales, de manera de determinar su potencialidad económica de largo plazo y orientar las acciones de fomento para la diversificación, tanto para las plantaciones como para la adecuación de los procesos industriales.

Extensión, Capacitación y Transferencia Tecnológica

La producción de madera de calidad requiere de la aplicación de programas de extensión y capacitación forestal que acompañen los instrumentos de fomento, apoyando a las pequeñas y medianas propiedades durante el período completo de la rotación silvícola.

La extensión incluye la entrega de información sobre aspectos económicos, financieros, comerciales y técnicos que ayuden a optimizar las decisiones de los propietarios, de manera directa y *online*. La capacitación significa la entrega práctica de conocimientos sobre el cómo realizar las faenas silvícolas.

Con la finalidad que los propietarios medianos y pequeños puedan mantener su competitividad económica, se deben desarrollar especialmente en ellos capacidades mediante información de mercado y de rentabilidad, adecuándose a las necesidades individuales, integrando sus conocimientos, visiones y realidades.

Las acciones de fomento, relacionadas tanto con la plantación como con su manejo, deben ir acompañadas de incentivos e instrumentos que hagan atractivo para los productores el gestionar sus bosques de manera rentable, considerando rotaciones completas en el caso de plantaciones orientadas al aserrío.

Asociatividad

La asociatividad ha sido considerada un elemento clave para desarrollar las pymes forestales y madereras.

- Apoyo del Estado para la Creación de Entidades Asociativas

Propietarios asociados a nivel predial y con empresas de la pyme maderera (sin excluir a grandes empresas) deben llevar a esquemas de alianzas productivas que permitan obtener masa crítica de patrimonio y optimización en los programas de extensión, capacitación y mejoramiento de la capacidad negociadora. En este contexto, resulta estratégico incentivar modelos de asociatividad vinculados a los instrumentos de fomento.

Contrariamente a lo sucedido en los países del norte de Europa, donde asociarse es una costumbre de larga data en la que se entienden muy bien las conveniencias de hacerlo, en Chile la puesta en marcha procesos de este tipo ha sido dificultosa. Aun existiendo la necesidad básica de asociarse para lograr un comercio más justo, entre todas las otras ventajas que presenta la asociatividad, la desconfianza de los posibles integrantes juega en contra. Contrarrestar este fenómeno debe ser rol del Estado, el cual debe prestar ayuda en la creación de experiencias asociativas exitosas para actores bien predispuestos a asociarse, generando polos con efecto multiplicador. El apoyo puede darse mediante ayuda organizativa, capacitando a los integrantes de una iniciativa asociativa, hasta el financiamiento de la puesta en marcha de una nueva entidad jurídica, como para la adquisición de equipamiento básico para comenzar.

El Estado podrá actuar a través de diversas instituciones como CONAF (futuro Servicio Forestal del Estado), INDAP, SAG e INFOR y se podrán utilizar instrumentos como, por ejemplo los PROFO (en versión mejorada y adecuada a los nuevos requerimientos).

Potenciar acciones de asociatividad exigirá promover alianzas estratégicas entre las entidades asociativas con organismos como los Institutos Tecnológicos y las Universidades, y condición previa será apoyar la obtención o saneamiento de títulos de dominio rurales y explorar la opción de alternativas de apoyo para propiedades que no los tengan.

- Incentivos Preferentes del Estado para Iniciativas Asociativas

Los incentivos del Estado deben estar orientados, si bien no exclusivamente, preferentemente (discriminación positiva) a las iniciativas asociativas, ya sean estas de la pyme maderera, de medianos y pequeños propietarios forestales o de combinaciones de ambos segmentos. Cuando se trata de entidades asociativas de pymes madereras se deben considerar opciones incentivadoras que van desde créditos preferenciales para proyectos como, por ejemplo, plantas de secado, de producción energética y otros; apoyo mediante la entrega de información estratégica para la toma de decisiones (precios, mercado); apoyo a la prospección y expansión de mercados, capacitación y otros aspectos.

Para el caso de entidades asociativas de medianos y pequeños propietarios forestales, los incentivos financiados a través de leyes de fomento y/o programas especiales del Estado deben estar orientados a la creación y desarrollo de un patrimonio forestal de valor, que en su conjunto responda a un plan productivo, económico y comercial. Los incentivos deberán estar orientados al establecimiento de plantaciones y su manejo con asesoría técnica durante toda la rotación, motivando a los propietarios a lograr los objetivos planteados de la cadena de valor. En paralelo debe ocurrir la capacitación y la entrega de información estratégica para la toma de decisiones económicas, comerciales y técnicas.

Consideraciones Adicionales

Consideraciones que complementan la visión de las recomendaciones entregadas por la Comisión Pyme en la Comisión de Política Forestal son algunas planteados por la NGP (*New Generation Plantations*) de WWF y otras que nacen de la experiencia del INFOR.

- **Recomendaciones del NGP**

De la reunión NGP realizada en Santiago en 2015, destacan algunos temas sobre los que se debe profundizar en la relación entre pequeños y medianos propietarios, comunidades y grandes empresas:

- La creación de confianzas: Para que las plantaciones forestales sean aceptadas las grandes empresas deben trabajar en conjunto con las comunidades locales y la sociedad civil construyendo y/o reconstruyendo confianzas.
- El trabajo a nivel de paisaje: Para lograr beneficios ambientales y sociales se debe trabajar y pensar con otros a nivel del territorio. Este debe tener resiliencia, lo que significa que los sistemas ecológicos y sociales continúen funcionando, entregando un amplio rango de servicios, aun considerando los efectos que genera el cambio climático. La aproximación debe ser inclusiva y desarrollada con todos los grupos de interés y generando beneficios para todos ellos.
- REDD+: Podría ofrecer oportunidades para nuevas plantaciones.
- Las empresas deben aprender a trabajar desde las comunidades, no con o para, lo que es un desafío para nuevos modelos de negocio.

- **Modelos Silvopastorales**

Diversos modelos silvopastorales han sido desarrollados durante los últimos años con el propósito de encontrar opciones que combinan actividades agropecuarias de cosecha anual, con actividades silvícolas con cosechas en turnos de períodos de varios años. Con estos métodos se han logrado opciones productivas ambientalmente amigables para medianos y pequeños propietarios.

Para zonas áridas y semiáridas se recomienda la especie exótica *Acacia saligna* que proporciona a través de su follaje y semillas alimentos, tanto para el ganado como para el ser humano. Diferentes especies del género *Prosopis* también proporcionan alimento y protección para el ganado. A esto se agrega el control de la erosión y el abastecimiento de leña (Rojas *et al.*, 2016).

Para las zonas templadas de Chile se han experimentado diversas opciones que van desde esquemas silvopastorales en el pie de monte de los Andes en bosques de *Nothofagus*, bosques de espino en el valle Central, en pino radiata, álamo y otras plantaciones, hasta especies que ofrecen frutos y madera, como *Pinus pinea*, cerezo y nogal (Dube *et al.*, 2016).

En regiones de Aysén y Magallanes, correspondientes a la Patagonia chilena se han realizado propuestas agroforestales, tanto para las especies lenga y ñirre como para las exóticas *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziessii* y *Pinus contorta*, considerando estas últimas para esquemas con cortinas cortaviento que ayudan en aumentar la productividad de praderas (Sotomayor *et al.*, 2016).

- **Comercio Justo**

Uno de los factores a considerar para el negocio de medianos y pequeños propietarios es la implementación del comercio justo o comercio equitativo, el cual consiste en una forma alternativa de comercio, promovida por varias organizaciones no gubernamentales, por la Organización de las Naciones Unidas y por movimientos sociales y políticos (como el pacifismo y el ecologismo), que propugna una relación comercial voluntaria y justa entre productores y consumidores.

Los principios que defiende el comercio justo⁸ son:

⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/Comercio_justo

- Los productores forman parte de cooperativas u organizaciones voluntarias y funcionan democráticamente.
- Libre iniciativa y trabajo, en rechazo a los subsidios y ayudas asistenciales (de allí la frase del comercio justo: «Comercio, no ayuda»).
- Rechazo a la explotación infantil.
- Igualdad entre hombres y mujeres.
- Se trabaja con dignidad respetando los derechos humanos.
- El precio que se paga a los productores permite condiciones de vida dignas.
- Los compradores generalmente pagan por adelantado para evitar que los productores busquen otras formas de financiarse.
- Se valora la calidad y la producción sostenible.
- Se cuida el medio ambiente
- Se busca la manera de evitar intermediarios entre productores y consumidores.
- Se informa a los consumidores acerca del origen del producto.
- El proceso debe ser voluntario, tanto la relación entre productores, distribuidores y consumidores.
- **Multifuncionalidad**

La multifuncionalidad de los bosques en el sentido amplio considera la producción de productos madereros, no madereros y servicios ambientales. Para los medianos y pequeños propietarios la multifuncionalidad también está relacionada con la subsistencia diaria, donde no puede existir solo una proyección de largo plazo a espera del cumplimiento de una rotación forestal, sino que debe haber opciones de cosecha de productos en plazos intermedios y anuales. Por este motivo, los modelos agroforestales y silvopastorales son atractivos para este segmento de productores, al ofrecer la producción anual de productos pecuarios y agrícolas; PFM como la miel, frutos, productos medicinales, ramajes, hongos y otros, que se suman posibilitando la supervivencia diaria. Todas las opciones mencionadas pueden ser combinadas, dependiendo de cada caso, con la opción de proyección maderera de largo plazo para al menos una parte del patrimonio.

CONCLUSIONES

Los Avances en la Recuperación de Superficie Forestal

Después de siglos durante los cuales la superficie forestal fue reducida, Chile ha logrado frenar la deforestación, invirtiendo esta tendencia recuperando durante los últimos cien años sobre 6 millones de ha que se componen de 2,43 millones de ha de plantaciones y el resto de bosque nativo de segundo crecimiento.

La superficie de plantaciones (59,1% *Pinus radiata*, 34,2% especies del género *Eucalyptus* y 6,7% otras especies), se encuentra en un 60,1% en manos de grandes y medianas empresas y el 39,9% restante en manos de medianos y pequeños propietarios. Estos últimos presentan grandes brechas tecnológicas, además de encontrarse sus plantaciones mayoritariamente en los sitios de menor rendimiento.

Un desafío entonces consiste en revertir la situación en las propiedades de pequeños y

medianos propietarios, incentivando tanto el manejo de lo ya establecido como la instalación de nuevas plantaciones con alto estándar tecnológico en aquellos lugares donde esto no ha ocurrido anteriormente.

La Forestación Pendiente

La superficie pendiente para ser forestada se estima en alrededor de 2,6 millones de ha, concentrándose en superficies pertenecientes a medianos y pequeños propietarios. A esto se agrega que esta superficie, en gran medida, se encuentra con altos grados de erosión y en muchos casos esto se asocia a bajos índices de desarrollo humano.

Aunque la superficie en la práctica forestable sea menor que la potencialmente forestable, el desafío es enorme y supera el esfuerzo forestador histórico.

Nuevos programas de incentivos estatales tendrán que hacerse cargo de las particularidades y demandas de la pyme forestal y la pyme maderera.

Los énfasis puestos en nuevos programas de forestación obedecen a distintas miradas. Desde aquella de la Comisión Pyme de la Comisión de Política Forestal se deben considerar aspectos económicos, sociales y ambientales, respetando las demandas de los propietarios y sus realidades regionales. A su vez se considera la necesidad de diversificar especies, poner énfasis en la calidad de lo producido y en transferir conocimientos y capacitaciones que hagan posible cumplir con las metas propuestas. Se debe dar especial importancia a la asociatividad de propietarios, lo que puede incluir también a la pyme maderera con la finalidad de contribuir a su abastecimiento.

Otras recomendaciones a considerar vienen del NGP (*New Generation Plantations*) de WWF, que indican la necesidad de crear confianzas entre todos los actores, realizar un trabajo a nivel del paisaje (planificación territorial), incluyendo los efectos del cambio climático.

Un énfasis especial se debe poner en los modelos agroforestales, ya que permiten flexibilizar las opciones productivas y ofrecen ingresos anuales además de los de mediano y corto plazo.

El comercio justo debe ser parte del esquema, teniendo como finalidad una mayor armonía en las transacciones entre consumidores y productores.

La multifuncionalidad del bosque aparece como un elemento clave en la proyección de la pyme a considerar en todo programa de incentivos futuro.

REFERENCIAS

Ávila, Alberto y Muñoz, Juan Carlos, 2014. Superficie de suelos potencialmente disponible para forestación Región del Bio Bio. Informe Técnico 201. 24 pág.

Beltrán, Karen, 2013. Superficie potencial forestable de las Regiones de O'Higgins a Aysén. Gerencia Forestal. CONAF. 276 Pág.

Dube, Francis; Sotomayor, Alvaro; Loewe, Veronica; Müller-Using, Burkhard; Stolpe, Neal; Zagal, Erick y Doussolin, Marcelo, 2016. Silvopastoral systems in Temperate Zones of Chile. En *Silvopastoral Systems in Southern South America* (Editores: Pablo Luis Peri, Francos Dube y Alexandre Varella); (<http://www.springer.com/series/6904>). 270 pág.

Elizalde, Rafael, 1958. La sobrevivencia de Chile. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Producción Agraria y Pesquera. Santiago, Chile.

Gay, Claudio, 1838. Sobre las Causas de la Disminución de los Montes de la Provincia de Coquimbo. Diario El Araucano, número 399, de abril de 1838, en "Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo" (F.A. Squeo, G. Arancio y J.R. Gutiérrez, Eds). Ediciones Universidad de La Serena, Chile (2001): 19: 281-286.

Grosse, Hans y Gysling, Janina, 2014. Proyección de la pequeña y mediana propiedad (PYMP) y la pyme maderera en Chile. Ciencia e Investigación Forestal. Santiago. Chile. Volumen 20, Número 2 de Agosto.

INFOR, 2013. Disponibilidad de Madera de Plantaciones de Pino Radiata y Eucalipto (2010 – 2040), Informe Técnico N°194. 117 pp.

INFOR, 2015. El Sector Forestal Chileno 2015. Chilean Forestry Sector 2015. Instituto Forestal, Chile. 48 pág.

INFOR, 2015a. Los Recursos Forestales en Chile. Informe 2015. Inventario Continuo de Bosques Nativos y Actualización de Plantaciones Forestales.

INFOR, 2015b. Anuario Forestal 2015. Instituto Forestal, Chile. Boletín estadístico N° 150. 161 pág.

Otero, L., 2006. La Huella del Fuego. Pehuén Editores. Santiago de Chile.

Rojas, Patricio; González Marlene; Benedetti, Susana; Yates, Peter; Sotomayor, Alvaro y Dube, Francis, 2016. Silvopastoral Systems in Arid and Semiarid Zones of Chile. En Silvopastoral Systems in Southern South America (Editores: Pablo Luis Peri, Francos Dube y Alexandre Varella); (<http://www.springer.com/series/6904>). 270 pág.

Sotomayor, Alvaro; Schmidt, Harald; Salinas, Jaime; Schmidt, Andreas; Sánchez Jardón, Laura; Alonso, Máximo; Moya, Iván y Teuber, Osvaldo, 2016. Sylvopastoral systems in the Aysen and Magallanes Regions of the Chilean Patagonia. En Silvopastoral Systems in Southern South America (Editores: Pablo Luis Peri, Francos Dube y Alexandre Varella); (<http://www.springer.com/series/6904>). 270 pág.

REGLAMENTO DE PUBLICACION

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL es una publicación técnica, científica, arbitrada y seriada, del Instituto Forestal de Chile, en la que se publican trabajos originales e inéditos, con resultados de investigaciones o avances de estas, realizados por sus propios investigadores y por profesionales del sector, del país o del extranjero, que estén interesados en difundir sus experiencias en áreas relativas a las múltiples funciones de los bosques, en los aspectos económicos, sociales y ambientales. Se acepta también trabajos que han sido presentados en forma resumida en congresos o seminarios. Consta de un volumen por año, el que a partir del año 2007 está compuesto por tres números (abril, agosto y diciembre) y ocasionalmente números especiales.

La publicación cuenta con un Consejo Editor institucional que revisa en primera instancia los trabajos presentados y está facultado para aceptarlos, rechazarlos o solicitar modificaciones a los autores. Dispone además de un selecto grupo de profesionales externos, de diversos países y de variadas especialidades, que conforma el Comité Editor. De acuerdo al tema de cada trabajo, este es enviado por el Editor a al menos dos miembros del Comité Editor para su calificación especializada. El autor o los autores no son informados sobre quienes arbitran su trabajo y los trabajos son enviados a los árbitros sin identificar al o los autores.

La revista consta de dos secciones; Artículos Técnicos y Apuntes, puede incluir además artículos de actualidad sectorial en temas seleccionados por el Consejo Editor o el Editor.

- **Artículos:** Trabajos que contribuyen a ampliar el conocimiento científico o tecnológico, como resultado de investigaciones que han seguido un método científico.
- **Apuntes:** Comentarios o análisis de temas particulares, que presenten enfoques metodológicos novedosos, representen avances de investigación, informen sobre reuniones técnicas o programas de trabajo y otras actividades de interés dentro del sector forestal o de disciplinas relacionadas. Los apuntes pueden ser también notas bibliográficas que informan sobre publicaciones recientes, en el país o en el exterior, comentando su contenido e interés para el sector, en términos de desarrollo científico y tecnológico o como información básica para la planificación y toma de decisiones.

ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

Artículos

Los trabajos presentados para esta sección deberán contener Resumen, *Summary*, Introducción, Objetivos, Material y Método, Resultados, Discusión y Conclusiones, Reconocimientos (optativo) y Referencias. En casos muy justificados Apéndices y Anexos.

Título: El título del trabajo debe ser representativo del efectivo contenido del artículo y debe ser construido con el mínimo de palabras.

Resumen: Breve descripción de los objetivos, de la metodología y de los principales resultados y conclusiones. Su extensión máxima es de una página y al final debe incluir al menos tres palabras clave que faciliten la clasificación bibliográfica del artículo. No debe incluir referencias, cuadros ni figuras. Bajo el título se identificará a los autores y a pie de página su institución y dirección. El **Summary** es evidentemente la versión en inglés del Resumen.

Introducción: Como lo dice el título, este punto está destinado a introducir el tema, describir lo que se quiere resolver o aquello en lo que se necesita avanzar en materia de información, proporcionar antecedentes generales necesarios para el desarrollo o comprensión del trabajo, revisar información bibliográfica y avances previos, situar el trabajo dentro de un programa más amplio si es el caso, y otros aspectos pertinentes. Los Antecedentes Generales y la Revisión de Bibliografía pueden en ciertos casos

requerir especial atención y mayor extensión, si así fuese, en forma excepcional puede ser reducida la Introducción a lo esencial e incluir estos puntos separadamente.

Objetivos: Breve enunciado de los fines generales del artículo o de la línea de investigación a que corresponda y definición de los objetivos específicos del artículo en particular.

Material y Método: Descripción clara de la metodología aplicada y, cuando corresponda, de los materiales empleados en las investigaciones o estudios que dan origen al trabajo. Si la metodología no es original se deberá citar claramente la fuente de información. Este punto puede incluir Cuadros y Figuras, siempre y cuando su información no resulte repetida con la entregada en texto.

Resultados: Punto reservado para todos los resultados obtenidos, estadísticamente respaldados cuando corresponda, y asociados directamente a los objetivos específicos antes enunciados. Puede incluir Cuadros y Figuras indispensables para la presentación de los resultados o para facilitar su comprensión, igual requisito deben cumplir los comentarios que aquí se pueda incluir.

Discusión y Conclusiones: Análisis e interpretación de los resultados obtenidos, sus limitaciones y su posible trascendencia. Relación con la bibliografía revisada y citada. Las conclusiones destacan lo más valioso de los resultados y pueden plantear necesidades consecuentes de mayor investigación o estudio o la continuación lógica de la línea de trabajo.

Reconocimientos: Punto optativo, donde el autor si lo considera necesario puede dar los créditos correspondientes a instituciones o personas que han colaborado en el desarrollo del trabajo o en su financiamiento. Obviamente se trata de un punto de muy reducida extensión.

Referencias: Identificación de todas las fuentes citadas en el documento, no debe incluir referencias que no han sido citadas en texto y deben aparecer todas aquellas citadas en éste.

Apéndices y Anexos: Deben ser incluidos solo si son indispensables para la comprensión del trabajo y su incorporación se justifica para reducir el texto. Es preciso recordar que los Apéndices contienen información o trabajo original del autor, en tanto que los Anexos contienen información complementaria que no es de elaboración propia.

Apuntes

Los trabajos presentados para esta sección tienen en principio la misma estructura descrita para los artículos, pero en este caso, según el tema, grado de avance de la investigación o actividad que los motiva, se puede adoptar una estructura más simple, obviando los puntos que resulten innecesarios.

PRESENTACION DE LOS TRABAJOS

La Revista acepta trabajos en español, inglés y portugués, redactados en lenguaje universal, que pueda ser entendido no solo por especialistas, de modo de cumplir su objetivo de transferencia de conocimientos y difusión al sector forestal en general. No se acepta redacción en primera persona.

Formato tamaño carta (21,6 x 27,9 cm), márgenes 2,5 cm en todas direcciones, interlineado sencillo y un espacio libre entre párrafos. Letra Arial 10. Un tab (8 espacios) al inicio de cada párrafo. No numerar páginas. Justificación ambos lados. Extensión máxima trabajos 25 carillas para artículos y 15 para Apuntes. Usar formato abierto, no formatos predefinidos de Word que dificultan la edición.

Primera página incluye título en mayúsculas, negrita, centrado, letra Arial 10, una línea, eventualmente dos como máximo. Dos espacios bajo éste: Autor (es), minúsculas, letra 10 y llamado a pie de página indicando Institución, país y correo electrónico en letra Arial 8. Dos espacios más abajo el Resumen y, si el espacio resulta suficiente, el *Summary*. Si no lo es, página siguiente igual que anterior, el *Summary*.

En el caso de los Apuntes, en su primera página arriba tendrán el título del trabajo en mayúscula, negrita, letra 10 y autor (es), institución, país y correo, letra 10, normal minúsculas, bajo una línea horizontal, justificado a ambos lados, y bajo esto otra línea horizontal. Ej:

EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE COMO MOTOR DE EMPRENDIMIENTO DEL MUNDO RURAL: LA EXPERIENCIA EN CHILE. Víctor Vargas Rojas. Instituto Forestal. Ingeniero Forestal. Mg. Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente. vvargas@infor.cl

Título puntos principales (Resumen, *Summary*, Introducción, Objetivos, etc) en mayúsculas, negrita, letra 10, margen izquierdo. Solo para Introducción usar página nueva, resto puntos principales seguidos, separando con dos espacios antes y uno después de cada uno. Títulos secundarios en negrita, minúsculas, margen izquierdo. Títulos de tercer orden minúsculas margen izquierdo.

Si fuesen necesarios títulos de cuarto orden, usar minúsculas, un tab (7 espacios) y anteponer un guion y un espacio. Entre sub títulos y párrafos precedente y siguiente un espacio libre. En sub títulos con más de una palabra usar primera letra de palabras principales en mayúscula. No numerar puntos principales ni sub títulos.

Nombres de especies vegetales o animales: Vulgar o vernáculo en minúsculas toda la palabra, seguido de nombre en latín o científico entre paréntesis la primera vez que es mencionada la especie en el texto, en cursiva (no negrita), minúsculas y primera letra del género en mayúsculas. Ej. pino o pino radiata (*Pinus radiata*).

Citas de referencias bibliográficas: Sistema Autor, año. Ejemplo en citas en texto; De acuerdo a Rodríguez (1995) el comportamiento de..., o el comportamiento de... (Rodríguez, 1995). Si son dos autores; De acuerdo a Prado y Barros (1990) el comportamiento de ..., o el comportamiento de ... (Prado y Barros, 1990). Si son más de dos autores; De acuerdo a Mendoza *et al.* (1990), o el comportamiento ... (Mendoza *et al.*, 1990).

En el punto Referencias deben aparecer en orden alfabético por la inicial del apellido del primer autor, letra 8, todas las referencias citadas en texto y solo estas. En este punto la identificación de la referencia debe ser completa: Autor (es), año. En negrita, minúsculas, primeras letras de palabras en mayúsculas y todos los autores en el orden que aparecen en la publicación, aquí no se usa *et al.* A continuación, en minúscula y letra 8, primeras letras de palabras principales en mayúscula, título completo y exacto de la publicación, incluyendo institución, editorial y otras informaciones cuando corresponda. Margen izquierdo con justificación ambos lados. Ejemplo:

En texto: señalaron que... (Yudelevich *et al.*, 1967) o Yudelevich *et al.* (1967) señalaron ...

En referencias:

Yudelevich, Moisés; Brown, Charles y Elgueta, Hernán, 1967. Clasificación Preliminar del Bosque Nativo de Chile. Instituto Forestal. Informe Técnico N° 27. Santiago, Chile.

Expresiones en Latín, como *et al.*; *a priori* y otras, así como palabras en otros idiomas como *stock*, *marketing*, *cluster*, *stakeholders*, *commodity* y otras, que son de frecuente uso, deben ser escritas en letra cursiva.

Cuadros y Figuras: Numeración correlativa: No deben repetir información dada en texto.

Solo se aceptan cuadros y figuras, no así tablas, gráficos, fotos u otras denominaciones. Toda forma tabulada de mostrar información se presentará como cuadro y al hacer mención en texto (Cuadro N° 1). Gráficos, fotos y similares serán presentadas como figuras y al ser mencionadas en texto (Figura N° 1). En ambos casos aparecerán enmarcados en línea simple y centrados en la página. En lo posible su contenido escrito, si lo hay, debe ser equivalente a la letra Arial 10 u 8 y el tamaño del cuadro o figura proporcionado al tamaño de la página.

Cuadros deben ser titulados como Cuadro N° , minúsculas, letra 8, negrita centrado en la parte superior de estos, debajo en mayúsculas, negritas letra 8 y centrado el título (una línea en lo posible). Las figuras en tanto serán tituladas como Figura N° , minúscula, letra 8, negrita, centrado, en la parte inferior de estas, y debajo en mayúsculas, letra 8, negrita, centrado, el título (una línea en lo posible). Si la diagramación y espacios lo requieren es posible recurrir a letra Arial *narrow*. Cuando la información proporcionada por estos medios no es original, bajo el marco debe aparecer entre paréntesis y letra 8 la fuente o cita que aparecerá también en referencias. Si hay símbolos u otros elementos que requieren explicación, se puede proceder de igual forma que con la fuente.

Se aceptan fotos en blanco y negro y en colores, siempre que reúnan las características de calidad y resolución que permitan su uso.

Abreviaturas, magnitudes y unidades deben estar atenuadas a la Norma NCh 30 del Instituto Nacional de Normalización (INN). Se empleará en todo caso el sistema métrico decimal. Al respecto es conveniente recordar que la unidades se abrevian en minúsculas, sin punto, con la excepción de litro (L) y de aquellas que provienen de apellidos de personas como grados Celsius (°C). Algunas unidades de uso muy frecuente: metro, que debe ser abreviado **m**, metro cúbico **m³**, metro ruma **mr**; o hectáreas **ha**.

Llamados a pie de página: Cuando estos son necesarios, serán numerados en forma correlativa y deben aparecer al pie en letra 8. No usar este recurso para citas bibliográficas, que deben aparecer como se indica en Referencias.

Archivos protegidos; "sólo lectura" o PDF serán rechazados de inmediato porque no es posible editarlos. La Revista se reserva el derecho de efectuar todas las modificaciones de carácter formal que el Comité Editor o el Editor estimen necesarias o convenientes, sin consulta al autor. Modificaciones en el contenido evidentemente son consultadas por el Editor al autor, si no hay acuerdo se recurre nuevamente al Consejo Editor o a los miembros del Comité Editor que han participado en el arbitraje o calificación del trabajo.

ENVIO DE TRABAJOS

Procedimiento electrónico. En general bastará enviar archivo Word, abierto al Editor (sbarros@infor.gob.cl). El autor deberá indicar si propone el trabajo para Artículo o Apunte y asegurarse de recibir confirmación de la recepción conforme del trabajo por parte del Editor.

Cuadros y figuras ubicadas en su lugar en el texto, no en forma separada. El Editor podrá en algunos casos solicitar al autor algún material complementario en lo referente a cuadros y figuras (archivos Excel, imágenes, figuras, fotos, por ejemplo).

Respecto del peso de los archivos, tener presente que hasta 5 Mb es un límite razonable para los adjuntos por correo electrónico. No olvidar que las imágenes son pesadas, por lo que siempre al ser pegadas en texto Word es conveniente recurrir al pegado de imágenes como JPEG o de planillas Excel como RTF.

En un plazo de 30 días desde la recepción de un trabajo el Editor informará al autor principal sobre su aceptación (o rechazo) en primera instancia e indicará (condicionado al arbitraje del Comité Editor) el Volumen y Número en que el trabajo sería incluido. Posteriormente enviará a Comité Editor y en un plazo no mayor a 3 meses estará sancionada la situación del trabajo propuesto. Si se mantiene la información dada por el Editor originalmente y no hay observaciones de fondo por parte del Comité Editor, el trabajo es aceptado como fue propuesto (Artículo o

Apunte), editado y pasa a publicación cuando y como se informó al inicio. Si no es así, el autor principal será informado sobre cualquier objeción, observación o variación, en un plazo total no superior a 4 meses.

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL

ARTICULOS	PÁGINAS
ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO Y PROYECCIÓN DE LAS SERIES DE PRECIOS DE TABLEROS DE MADERA EN EL MERCADO NACIONAL, CHILE. Toledo, Roger. Chile.	7
ESTUDIO DE LA HUMECTABILIDAD Y EL EFECTO DE DOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES EN LA ADHESIÓN ENTRE UN MATERIAL COMPUESTO FIBRA DE CORTEZA/HDPE Y MADERA SÓLIDA DE <i>Eucalyptus nitens</i> . Muñoz, Freddy; Ballerini, Aldo y Gacitúa, William. Chile.	25
EXPERIENCIA DE MANEJO SILVOPASTORAL EN DOS RENOVALES COETÁNEOS DE <i>Nothofagus antarctica</i> (G.Forst.) Oerst. (Ñire) EN LA REGIÓN DE AYSÉN, CHILE. Salinas, Jaime. Chile.	37
EFFECTO DE RIZOBACTERIAS EN EL ENRAIZAMIENTO DE MINIESTACAS EN DOS CLONES HÍBRIDOS DE <i>Eucalyptus spp.</i> González-Candia, Paulina; Rodríguez, Francisco; Sanfuentes Eugenio y Sossa, Katherine. Chile.	51
COMPORTAMIENTO DE TULIPERO (<i>Liriodendron tulipifera</i> L.) BAJO MANEJO DE ARBORICULTURA PARA PRODUCIR MADERA DE ALTO VALOR EN EL SUR DE CHILE. Loewe, Verónica; Delard, Claudia y Morel, Macarena. Chile.	65
APUNTES	
LA POTENCIALIDAD DE NUEVAS PLANTACIONES FORESTALES EN CHILE. Grosse, Hans y Rosselot, Fernando. Chile.	77
REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN	91

