

Volumen 22 N° 2
Agosto 2016

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

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL



**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**



INFOR

VOLUMEN 22 N° 2

**CIENCIA E
INVESTIGACION
FORESTAL**

Agosto 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
	José Bava	CIEFAP	Argentina
Comité Editor	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.

DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DE UN HUERTO SEMILLERO CLONAL DE GENERACIÓN AVANZADA DE *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst

Ipinza, Roberto¹; Gutiérrez, Braulio²; Clasing, Germán³; Corti, Dante⁴ y Molina, Maria Paz⁵

RESUMEN

Se describe el trabajo de diseño y plantación de un huerto semillero clonal de segunda generación de roble (*Nothofagus obliqua*), establecido en julio de 2016 en Huillilemu (San José de la Mariquina, región de Los Ríos, Chile).

El principal objetivo del trabajo es constituir una referencia u orientación para otras iniciativas similares que busquen maximizar las ganancias genéticas y minimizar la endogamia bajo restricciones de parentesco.

También se presentan y discuten consideraciones claves para enfrentar las decisiones involucradas en el diseño de huertos semilleros de generación avanzada.

Palabras clave: Huerto semillero, diseño, endogamia, ganancia genética

SUMMARY

A second generation roble (*Nothofagus obliqua*) clonal seed orchard design and planting is described. The orchard was established in July 2016 at Huillilemu farm (San José de la Mariquina, Los Rios region, Chile).

Main work objective is to be a guidance for other similar initiatives that seek to maximize gains and to minimize genetic inbreeding under restrictions of relative relationship.

Key considerations to address the decisions involved in designing advanced generation seed orchard are discussed too.

Keywords: Seed orchard, design, inbreeding, genetic gain.

¹ Ingeniero Forestal. Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal, sede Los Ríos. roberto.ipinza@infor.cl

² Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, sede Biobío. bguetierr@infor.cl

³ Ingeniero Forestal. Corporación Nacional Forestal, Los Ríos. german.clasing@conaf.cl

⁴ Ingeniero Forestal. M.Sc., Dr. en Tecnologías de Información Geográfica. Instituto Forestal, sede Los Ríos. dcorti@infor.cl

⁵ Ingeniera Forestal. M.Sc. Instituto Forestal, sede Biobío. mmolina@infor.cl

INTRODUCCIÓN

Los huertos semilleros constituyen uno de los enlaces más importantes que conectan a las poblaciones de mejora con las poblaciones de producción forestal, permitiendo traspasar las ganancias genéticas del programa de mejoramiento para hacerlas efectivas como incrementos de productividad en las plantaciones operacionales (Prescher, 2007). Estas unidades se definen tradicionalmente como plantaciones de clones o de progenies selectas, que se aíslan para minimizar la polinización desde fuentes de menor valor, y se manejan intensivamente para producir semilla en forma frecuente, abundante, fácil de cosechar y con la mayor ganancia genética en el menor tiempo posible (Zobel y Talbert, 1988).

Como tales, los huertos semilleros resultan unidades clave en la producción operacional de material genéticamente mejorado y así se ha entendido también en las iniciativas de mejoramiento de *Nothofagus* y otras especies nativas emprendidas por el Instituto Forestal en colaboración con la Corporación Nacional Forestal. En este contexto se ha desarrollado, desde 1997, un conjunto de proyectos de investigación, con financiamiento de FONDEF e INNOVA Chile, que han permitido materializar estrategias de mejoramiento genético para especies forestales nativas. Tales proyectos consideraron la selección de árboles plus, la habilitación de fuentes de semilla mejorada (áreas productoras de semillas y huertos semilleros clonales) y la instalación de extensas y muy completas baterías de ensayos genéticos, principalmente pruebas de progenies y procedencias de individuos selectos o representativos de la variabilidad intraespecífica de distintas especies (roble, raulí lenga, coigüe y laurel) a lo largo de su distribución natural (Ipinza *et al.*, 1998).

En la actualidad, una nueva iniciativa de investigación⁶ vuelve a vincular a INFOR y CONAF, ahora para establecer un huerto semillero clonal de segunda generación de roble, derivado de selecciones individuales efectuadas en las pruebas de progenies anteriormente establecidas con esta especie. En términos de propagación y silvicultura de establecimiento, esta nueva iniciativa no difiere significativamente respecto de un huerto de primera generación; sin embargo, en términos de la selección del material a considerar y del diseño de un huerto de segunda generación y siguientes, se requiere tomar decisiones que demandan un rigor técnico considerablemente mayor que para un huerto 1.0 establecido con selecciones masales.

El complejo diseño de los huertos de generación avanzada, con selecciones efectuadas en ensayos genéticos, deriva del interés por usar información cuantitativa (valores de mejora e índices de selección) cuya complejidad se incrementa en la medida que avanzan las generaciones, se mezclan individuos seleccionados hacia adelante y hacia atrás, y se entrecruzan las relaciones de parentesco entre los árboles evaluados. Por otra parte, la necesidad de maximizar ganancias debe armonizarse con requerimientos de variabilidad genética y reducción de endogamia, aspectos que deben reflejarse en decisiones de diseño tan fundamentales como número de clones a utilizar, cantidad de rametos que represente a cada clon y sus esquemas de distribución espacial.

Consecuentemente, en este artículo se discuten consideraciones claves para enfrentar las decisiones involucradas en el diseño de un huerto de generación avanzada, aspecto que se complementa con antecedentes específicos derivados del trabajo efectuado para diseñar, establecer y en el futuro manejar un huerto semillero clonal de roble (*Nothofagus obliqua*), de segunda generación. Este huerto en particular se estableció en julio-agosto de 2016, en el predio Huililimu, a partir de réplicas injertadas de árboles seleccionados en una prueba de progenies de 15 años de edad, en función de sus valores de mejora, los que a su vez fueron estimados mediante técnicas de genética cuantitativa.

En tal contexto, el objetivo de este artículo es documentar el proceso de diseño y establecimiento de un huerto semillero clonal de segunda generación, de modo de constituir una referencia u orientación para otras iniciativas similares que buscan maximizar las ganancias genéticas y minimizar la endogamia bajo restricciones de parentesco.

⁶ Proyecto CONICYT "Implementación de la Segunda Generación para el Mejoramiento y la Conservación de los Recursos Genéticos de Roble y Raulí: Promoviendo supervivencia, adaptación y potencial económico bajo el escenario de Cambio Climático Global"

HUERTOS SEMILLEROS DE ESPECIES DE *Nothofagus* EN CHILE

En el programa de mejoramiento genético de especies de *Nothofagus*, establecido por Ipinza *et al.* (1998), se reconoce el potencial productivo de estas especies y se plantea el establecimiento de huertos semilleros clonales como una de sus metas fundamentales para incrementar la productividad de las plantaciones establecidas con estas especies. En este contexto, en el país actualmente existen dos huertos semilleros clonales de *N. alpina*, el primero de ellos, Huillilemu, establecido por la Corporación Nacional Forestal en 1989, en la comuna de San José de la Mariquina en la región de Los Ríos, y el huerto Dewiñ Mahuida establecido en 1999 por la Universidad Austral de Chile y el Instituto Forestal, en convenio con la empresa Forestal Neltume Carranco SA, en la localidad de Neltume, también en la región de Los Ríos.

El huerto Huillilemu fue establecido con un diseño de 71 bloques completos al azar, lo que permite probar diferentes tratamientos con propósito de investigación. Cada bloque contiene 25 clones representados por un rameto cada uno. Esta cantidad de clones permite maximizar la flexibilidad de la depuración y asegurar la remoción del 50% de los peores clones. La superficie efectiva de huerto corresponde a 2,5 ha. Este huerto aún no posee ensayos genéticos de progeñe, aunque para la temporada 2018, se tiene planificado establecer cuatro ensayos de progeñe, uno para cada región de procedencia de la región de los Ríos.

El diseño del huerto Dewiñ Mahuida corresponde a un diseño aleatorio con restricción de distancia. Este tipo de diseño es utilizado con fines de producción. La superficie del huerto totaliza 3 hectáreas y se representan en él 24 clones correspondientes a copias vegetativas de árboles plus identificados durante las campañas de selección de árboles superiores. Este huerto se estableció como un gran bloque de 35 filas por 24 columnas, donde los rametos fueron distribuidos al azar considerando una restricción de distancia de 40 metros lineales entre rametos del mismo clon. Este mínimo fue determinado por estudios de distribución de polen alrededor de árboles aislados de coníferas y eucalipto, donde se demostró que la mayor parte del polen cae dentro de esa distancia, o es transportado dentro de ella por los vectores de polinización. Para muchas especies se necesitan estudios de vuelo del polen o el patrón de movimiento de insectos.

El espaciamiento inicial entre rametos, es de 5x5 m en el huerto Huillilemu y de 6x6 m en el caso de Dewiñ Mahuida. Este espaciamiento permite un desarrollo adecuado de la copa, como también el acceso de maquinaria para las diferentes labores de manejo; además es utilizado en muchos huertos de polinización abierta de diferentes especies en todo el mundo (Faulkner, 1975).

DISEÑO DE HUERTOS CLONALES DE GENERACIÓN AVANZADA

La transición desde los huertos semilleros de primera generación hacia los de generación avanzada requiere que se consideren diseños alternativos que permitan maximizar el valor genético de las futuras cosechas de semillas, demostrándose que los diseños aleatorios, que se han usado tradicionalmente en los huertos de primera generación, no siempre resultan eficientes para aprovechar el potencial de las selecciones de generación avanzada (El-Kassaby, 2003).

Para diseñar huertos semilleros apropiados para las generaciones de mejora avanzada se debe tener en consideración algunos criterios particularmente pertinentes, como: la tasa de polinización cruzada; el interés por realizar cruces entre algunos padres específicos; la integración de árboles relacionados (emparentados), tanto de la misma, como de diferentes generaciones; la forma y configuración del huerto; el despliegue proporcional de rametos por clon; y otros. También deben considerarse el rendimiento y los patrones reproductivos de las especies y condiciones ambientales como la dirección predominante de los vientos.

En sus estados iniciales los programas de mejora genética operan con árboles que han sido seleccionados masalmente en rodales silvestres y que no están emparentados entre sí. En esta situación, huertos relativamente simples pueden cumplir eficientemente con la labor de producir semilla mejorada. La literatura ha considerado un sinnúmero de distribuciones espaciales de los huertos semilleros, en especial durante la fase inicial de los programas de mejoramiento genéticos (Giertych, 1975), estos arreglos van desde filas puras, de tablero de ajedrez,

completamente al azar, bloques completamente al azar, bloques fijados, bloques rotativos, bloques reversados, bloques incompletamente desbalanceados, bloques incompletamente balanceados, bloques incompletos cíclicos, lattice balanceados, vecindad permutada y diseños sistemáticos.

Sin embargo, en la medida que los programas progresan, aumenta la afinidad y parentesco entre los individuos selectos, por lo que surgen nuevas ideas para estructurar los huertos semilleros clonales de generaciones avanzadas, entre ellas usar un número de rametos por clon proporcional a los valores de mejora de cada clon, para así maximizar ganancia al mismo tiempo que se gestiona la diversidad genética, y filas monoclonales, que sin un aumento considerable de endogamia facilitan la cosecha de semillas a nivel de clones individuales.

En general se prefieren los diseños al azar para evitar patrones repetidos de proximidad en ciertos grupos clonales, como ocurre en los diseños sistemáticos. Los patrones de vecindades repetidas son indeseables porque, al momento del raleo genético o depuración de los clones más pobres, se pueden encontrar grupos de clones muy buenos o muy malos que producirán un espaciamiento irregular después del raleo. Cuando hay grupos de clones buenos, puede ser necesario remover algunos rametos simplemente para dejar entrar la luz. Esto ocurre con menos frecuencia en los diseños al azar. Para este diseño se requiere un programa de computador que revise sistemáticamente la restricción de distancia. En programas comerciales de *Pinus radiata*, en Chile, en la generación 1.5 se ha utilizado normalmente este diseño (Ipinza *et al.*, 1993).

Lstibůrek y El-Kassaby (2007) proponen dos modelos de huertos especialmente útiles para generaciones avanzadas; el primero aprovecha las ventajas de la aleatorización y ordenamiento sistemático de vecindades de clones que comparten padres, para facilitar la cosecha de semillas a nivel de clon (modelo RRSCR⁷); y el uso de una asignación global de los rametos de cada clon dentro del espacio total del huerto, con el objeto de minimizar el efecto potencial de la endogamia en la colecta de semillas (modelo de asignación global).

El primer diseño (RRSCR) permite que las filas de cada clon queden separadas por un radio predeterminado, minimizando así la cruza entre los rametos del mismo clon de una fila específica, y maximizando el cruzamiento entre los clones no relacionadas mediante dos elementos de diseño:

- (i) Usando filas escalonadas (traslapadas), donde cada clon está rodeado por otros cuatro clones vecinos.
- (ii) Usando un conjunto de 4 clones que sean distintos en cada réplica del huerto. Este diseño es relativamente simple, facilita la cosecha selectiva de la semilla por clones individuales y reduce la tasa efectiva de autofecundación y de cruzamiento entre árboles emparentados (Figura N° 1).

Por otra parte, el modelo de asignación global corresponde, en teoría, al diseño más eficiente para reducir la endogamia en la producción de semillas de un huerto. En este esquema la ubicación de cada rameto de cada clon se designa en función de la ubicación de todos los demás. Así, aunque en ocasiones se pueda percibir cierta proximidad entre rametos del mismo clon, este diseño es más efectivo para reducir la endogamia que cualquiera de los otros diseños disponibles (Figura N° 2).

El-Kassaby (2003) comparó huertos de *Tsuga heterophylla* establecidos con diseños de filas clonales y de asignación global, concluyendo que el diseño no tiene efecto sobre la cantidad de semilla producida; pero que si afecta significativamente a la tasa de exocruzadas, indicando que la autopolinización y las cruzas entre individuos relacionados son mayores en el diseño de filas clonales. Esta situación define una considerable diferencia de calidad genética de las semillas a favor del huerto aleatorizado de asignación global.

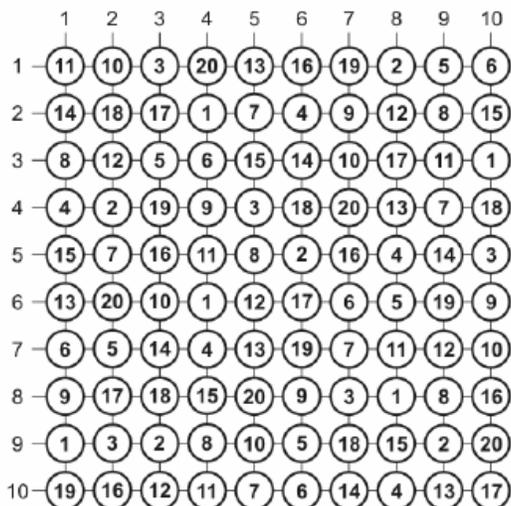
⁷ RRSCR sigla en inglés de: filas clonales, escalonadas (traslapadas), repetidas y aleatorizadas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	23	7	25	19	8	5	6	22	27	8	1	25	21	22	13	14	1	28	5	13	10	23	22	15	6	7
2	23	7	25	19	8	5	6	22	27	8	1	25	21	22	13	14	1	28	5	13	10	23	22	15	6	7
3	23	7	25	19	8	5	6	22	27	8	1	25	21	22	13	14	1	28	5	13	10	23	22	15	6	7
4	23	14	25	16	8	1	6	13	27	19	1	9	21	11	13	18	1	4	5	9	10	27	22	14	6	10
5	23	14	25	16	8	1	6	13	27	19	1	9	21	11	13	18	1	4	5	9	10	27	22	14	6	10
6	23	14	25	16	8	1	6	13	27	19	1	9	21	11	13	18	1	4	5	9	10	27	22	14	6	10
7	18	14	28	16	12	1	5	13	11	19	24	9	6	11	2	18	26	4	11	9	21	27	4	14	2	10
8	18	14	28	16	12	1	5	13	11	19	24	9	6	11	2	18	26	4	11	9	21	27	4	14	2	10
9	18	14	28	16	12	1	5	13	11	19	24	9	6	11	2	18	26	4	11	9	21	27	4	14	2	10
10	18	4	28	22	12	9	5	28	11	4	24	3	6	14	2	27	26	20	11	22	21	17	4	28	2	25
11	18	4	28	22	12	9	5	28	11	4	24	3	6	14	2	27	26	20	11	22	21	17	4	28	2	25
12	18	4	28	22	12	9	5	28	11	4	24	3	6	14	2	27	26	20	11	22	21	17	4	28	2	25
13	10	4	26	22	15	9	18	28	2	4	25	3	20	14	7	27	3	20	14	22	15	17	6	28	13	25
14	10	4	26	22	15	9	18	28	2	4	25	3	20	14	7	27	3	20	14	22	15	17	6	28	13	25
15	10	4	26	22	15	9	18	28	2	4	25	3	20	14	7	27	3	20	14	22	15	17	6	28	13	25
16	10	5	26	7	15	17	18	5	2	10	25	23	20	16	7	26	3	17	14	16	15	24	6	7	13	21
17	10	5	26	7	15	17	18	5	2	10	25	23	20	16	7	26	3	17	14	16	15	24	6	7	13	21
18	10	5	26	7	15	17	18	5	2	10	25	23	20	16	7	26	3	17	14	16	15	24	6	7	13	21
19	21	5	20	7	28	17	16	5	11	10	6	23	19	16	12	26	5	17	28	16	21	24	12	7	11	21
20	21	5	20	7	28	17	16	5	11	10	6	23	19	16	12	26	5	17	28	16	21	24	12	7	11	21
21	21	5	20	7	28	17	16	5	11	10	6	23	19	16	12	26	5	17	28	16	21	24	12	7	11	21
22	21	15	20	13	28	14	16	3	11	12	6	8	19	18	12	25	5	20	28	6	21	2	12	10	11	8
23	21	15	20	13	28	14	16	3	11	12	6	8	19	18	12	25	5	20	28	6	21	2	12	10	11	8
24	21	15	20	13	28	14	16	3	11	12	6	8	19	18	12	25	5	20	28	6	21	2	12	10	11	8

(Fuente: Lstibúrek y El-Kassaby, 2007).

Las marcas rojas muestran la ubicación en particular del clon n°7.

Figura N° 1
EJEMPLO DE HUERTO SEMILLERO CLONAL CON DISEÑO RRSCR, DONDE SE EVIDENCIA LA SEPARACIÓN ENTRE LAS REPETICIONES DE LAS FILAS CLONALES, Y EL ORDENAMIENTO ESCALONADO (TRASLAPADO) DE ESTAS FILAS



(Fuente: Lstibúrek y El-Kassaby, 2007).

Figura N° 2
EJEMPLO DE HUERTO SEMILLERO CLONAL CON DISEÑO DE ASIGNACIÓN GLOBAL, DONDE SE EVIDENCIA LA SEPARACIÓN ENTRE RAMETOS DE UN MISMO CLON. EL EJEMPLO CONSIDERA LA DISTRIBUCIÓN DE 20 CLONES CON 5 RAMETOS CADA UNO.

ESTABLECIMIENTO DEL HUERTO SEMILLERO CLONAL DE ROBLE EN HUILLILEMU

Selección e Injertación del Material Genético Considerado en el Huerto

Los injertos utilizados para conformar el huerto provienen de púas obtenidas desde individuos seleccionados en un ensayo de progenies de roble, de 15 años de edad, previamente establecido en el predio Arquihue, perteneciente a la empresa Forestal y Agrícola Taquihue SA (región de los Ríos). Tal ensayo fue sometido a una evaluación en la que se midió la altura y DAP de todos sus árboles; con estos datos y el conocimiento de la estructura familiar del ensayo se estimó los valores de mejora para cada individuo mediante un análisis BLUP (*Best Linear Unbiased Predictor*) con el programa ASREML (Gilmour, *et al.*, 1999). Los árboles seleccionados para injertación, y consecuentemente para conformar el huerto, corresponden a los 22 individuos que presentaron los mayores valores de mejora en diámetro.

La injertación propiamente tal se realizó desde el 15 de julio al 20 de agosto del año 2015, en dependencias del predio Huillilemu. Se utilizó la técnica de hendidura simple, descrita en Emhart *et al.* (2000), sobre patrones de roble de un año de edad, producidos a raíz desnuda el año 2014 en viveros de Huillilemu.

Emplazamiento y Preparación del Sitio para el Establecimiento del Huerto

El sitio seleccionado para instalar el huerto se localiza en el predio, en la comuna de San José de la Mariquina en la región de Los Ríos. En la Figura N° 3 se muestra un fotomosaico del predio, de imágenes captadas por un vehículo aéreo no tripulado, y un detalle del área destinada a establecer el huerto. El manejo de la información espacial del fotomosaico se realizó mediante el programa QGIS.



(Fuente: Mosaico realizado por el Dr. Dante Corti)
Zonas 1 y 2 están separadas por un canal de drenaje

Figura N° 3
VISTA AÉREA DEL PREDIO HUILLILEMU (IZQ.) Y DETALLE DEL ÁREA EN MARCADA EN VERDE, QUE CORRESPONDE A LA SUPERFICIE ORIGINALMENTE DISPONIBLE PARA INSTALAR HUERTO SEMILLERO DE ROBLE (DER.)

El área seleccionada para establecer el huerto corresponde a una superficie aproximada de 3,5 ha, dividida en dos zonas por la presencia de un canal de drenaje que atraviesa el terreno. La zona 2 (1,5 ha) exhibe limitaciones de drenaje, problema que no se presenta en la zona identificada con el número 1 (2,0 ha). En las imágenes de la derecha de las Figuras N° 3 y N° 4 se aprecia el canal de drenaje que separa ambas zonas. La última figura muestra también una vista general del terreno para establecer el huerto.



Figura N° 4
VISTA GENERAL DEL TERRENO PARA ESTABLECER EL HUERTO (IZQ.) Y DETALLE DEL CANAL DE DRENAJE QUE ATRAVIESA EL TERRENO (DER.)

La habilitación del terreno destinado al establecimiento del huerto consistió en la remoción de los árboles existentes (principalmente álamos y manzanos) y en la aplicación de una rastra (raneo) para eliminar vegetación indeseable menor (zarzamora y otras malezas).

Una vez realizada la habilitación, se señaló cada posición de plantación disponiendo estacas clavadas en el suelo a un espaciamiento de 5x5 m. En esta operación se excluyó las áreas inundables y con presencia de ripio, así como aquellas que se encontraban a menos de 3 m con respecto al canal de drenaje. Durante esta actividad se decidió excluir la zona 2, básicamente por los problemas de anegamiento que se presentan, lo que la hace incompatible con la forma de vida que presenta el roble.

El área destinada al huerto de roble (zona 1) es alledaña a un huerto de raulí previamente existente en el predio; así, atendiendo a que ambas especies hibridan, se debió instalar una barrera de polen conformada por una plantación de *Pinus radiata* y *Cupressus spp.*, dispuesta como cortina de 5 hileras (pino-ciprés-pino-ciprés-pino) a un espaciamiento de 3x3 m en tresbolillo.

Al considerar el espaciamiento entre rametos (5x5 m), las superficies no aptas para plantación y el terreno ocupado con la barrera de aislación de polen, se dispone de una superficie útil en la zona 1 para establecer 770 posiciones de plantación.

Diseño del Huerto

Para formular un diseño de huerto semillero clonal es necesario definir el número de genotipos o clones seleccionados, de modo de armonizar las ganancias y la diversidad genética. También se debe establecer el número de copias o rametos con que se representa cada clon, esto en función de su valor de mejora y del parentesco o relación genética entre los genotipos

seleccionados; y se debe definir también la distribución espacial de los rametos de cada clon en el terreno. Estas últimas consideraciones son necesarias para reducir la endogamia.

Entonces, para formular un diseño robusto del huerto semillero de roble de Huillilemu, se ha considerado utilizar como una “guía” el programa OPSEL 1.0 (Mullin, 2014) que permite una selección óptima de los genotipos, o número de rametos por cada clon, que optimice la ganancia genética. Por su parte, para cumplir con la condición de minimizar la endogamia, en términos de la distribución espacial de los rametos de un mismo clon, se utilizó el programa CLONAGEM (Ipinza *et al.*, 1994). Dicho programa finalmente origina el plano o distribución espacial del huerto semillero diseñado.

En el Cuadro N°1 se resume la información de los clones usados para diseñar y establecer el huerto. En su primera columna muestra un número que indica desde el mejor al peor valor de mejora en DAP; la segunda columna corresponde al código único de los ensayos de progenie y procedencia y de las bases de datos de INFOR; la tercera es el número que corresponde a la familia y el bloque donde se colectó las púas para injerto; la cuarta corresponde al número de rametos sobrevivientes al primero de marzo del 2016. La última columna indica los rametos que son hijos y otros que son comodines.

El total de rametos disponibles para establecer el huerto semillero clonal de roble (*Nothofagus obliqua*) es de 1.260, de los cuales 1.140 son considerados fijos (22 clones) y la diferencia (2 clones) son comodines debido a que el número de injertos por rametos es distinto y para prevenir imponderables o accidentes que pueden disminuir el número de rametos por clon de algunos genotipos específicos.

Cuadro N° 1
INVENTARIO DE INJERTOS ORDENADOS EN FORMA ASCENDENTE
DE ACUERDO A SU VALOR DE MEJORA EN DAP

Numero	Código Único	Código Familia + Bloque	N° de Rametos	Rametos Hijos y Comodín
1	1010	479 + B1	41	Fijo
2	1013	423 + B1	36	Fijo
3	1070	384 + B1	57	Fijo
4	1081	509 + B1	45	Fijo
5	1245	542 + B1	55	Fijo
6	1262	341 + B2	52	Fijo
7	1343	428 + B2	52	Fijo
8	1491	542 + B2	55	Fijo
9	1509	514 + B3	27	Fijo
10	1528	299 + B3	36	Fijo
11	1579	436 + B3	71	Fijo
12	1635	380 + B3	62	Fijo
13	1672	344 + B3	28	Fijo
14	1763	383 + B4	62	Fijo
15	1766	472 + B4	76	Fijo
16	1803	381 + B4	65	Fijo
17	2028	384 + B5	61	Fijo
18	2053	455 + B5	34	Fijo
19	2089	382 + B5	56	Fijo
20	2146	504 + B5	61	Fijo
21	2175	457 + B5	78	Fijo
22	2202	408 + B5	30	Fijo
23	2208	341 + B5	38	Comodín
24	2079	503 + B5	82	Comodín

- Maximización de Ganancias Genéticas bajo Restricciones de Parentesco

En un programa de mejoramiento genético, además de maximizar la respuesta a la selección se debe conservar la diversidad genética (Mullin, 2014). Normalmente no se puede seleccionar el mejor árbol sin tomar en cuenta su grado de parentesco con los demás árboles del huerto. El manejo del parentesco entre selecciones se vuelve más complicado cuando progenitores, hermanos, y otros, tienen un ranking similar. La solución óptima no es evitar completamente la consanguinidad, sino encontrar un conjunto de selecciones que maximicen las ganancias genéticas bajo las restricciones de parentesco.

Para el caso de un huerto semillero de roble, que es de polinización por el viento, Lindgren *et al.* (1989) y Lindgren y Matheson (1986) sugieren que la relación óptima entre el valor de mejora del candidato y su contribución a la población, es lineal. Esta situación es más probable cuando los candidatos no están relacionados; mientras que si existiera algún tipo de parentesco Bondesson y Lindgren (1993) sugieren soluciones más complejas.

En el Cuadro 2, se muestra los resultados de la aplicación del programa OPSEL, donde se indican los estadígrafos de la solución que converge.

Cuadro N° 2
ESTADÍGRAFOS GENÉTICOS QUE CARACTERIZAN EL NÚMERO DE RAMETOS POR CLON QUE FORMARA PARTE DEL HUERTO

Estadígrafos	Valores
Número total de entidades en el pedigrí	1.488
Número de individuos seleccionados	22
Census number ⁽¹⁾ del grupo selecto	1.140
Status number ⁽²⁾ del grupo selecto	19.184
Group coancestry ⁽³⁾ del grupo selecto	0,0260
Self coancestry ⁽⁴⁾ del grupo selecto	0,0243
Pair-wise coancestry ⁽⁵⁾ del grupo selecto	0,0016
Diversidad genética proporcional del grupo seleccionado	0,9739
Endogamia promedio del grupo seleccionado	0,0000
Valor genético promedio del grupo seleccionado	13,3410

(1) Número total de individuos de una población

(2) Es una medida de diversidad genética y corresponde al número de individuos de una población que no están emparentados

(3) Es el valor promedio de los elementos de la matriz de parentesco. El "Group coancestry" puede dividirse en dos partes: "Self coancestry" y "Pair-wise coancestry".

(4) Es la parte dependiente de los ancestros de los genotipos con ellos mismos.

(5) Es la parte dependiente de los ancestros de los diferentes genotipos

El programa arroja además un archivo que indica la nueva relación del número de rametos por clon que maximiza las ganancias genéticas bajo restricciones de parentesco. El parentesco, en el grupo de genotipos seleccionados, 22, es muy bajo ($<0,0001$), lo cual corresponde a una endogamia promedio de cero.

- Minimización de Endogamia

De acuerdo con Lstiburek y El-Kassaby (2010) la endogamia en un huerto puede ocasionar pérdida en la producción de semilla debido a la presencia de semillas vanas o de baja tasa de germinación y reducción de las ganancias genéticas en plantaciones forestales. Por esto, en el diseño de un huerto semillero es clave considerar la distribución espacial de los rametos de un mismo clon, para evitar autocruzamiento y así reducir la incidencia de endogamia. En general, a mayor distancia entre rametos del mismo clon menor endogamia. Así, con una distribución espacial

que mantenga lo más separados posible los rametos de un mismo clon, tal como se muestra en la Figura N° 5 (porción del plano final), se logra minimizar la endogamia. Este plano se ha utilizado para la confección del huerto semillero clonal de roble de Huillilemu.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	2053	2018	1579	2146	1262	1528	1635	2202	1509	1803	1245	2175	2089	1343	1766	1
2	1528	1013	2208	1010	1491	2018	1579	2146	1081	1010	1579	2208	2202	1672	1509	2
3	1081	2202	1766	1803	1763	2175	1070	1672	1013	1491	1262	2018	2053	1010	1245	3
4	2089	1635	1245	1343	2053	1509	2208	1245	1528	1635	1763	1070	2146	1081	1803	4
5	1491	1070	1672	1528	1013	2089	1766	1343	2053	2089	1766	1509	1013	1635	2208	5
6	1262	1579	2146	1081	2202	1262	1010	1803	2018	2175	1672	1245	1343	1528	1763	6
7	1803	2208	1509	2018	1635	1579	2146	1763	2202	1579	2208	1803	1491	2175	1672	7
8	2202	2053	1010	1766	1070	1672	1491	1013	1509	1262	1010	2053	2018	1579	1262	8
9	1528	1763	2089	1245	1343	2175	1081	1528	1635	1070	2146	1081	2202	1766	1010	9
10	1081	2175	1491	1803	2208	2053	2089	1766	1343	1245	1763	1013	1635	2208	2146	10
11	1070	1262	1579	2202	1013	1509	2018	1010	1672	1491	2089	1528	1672	1070	1803	11
12	2018	2146	1672	1528	1763	1262	1579	2202	2208	1803	1579	2175	1509	1343	1081	12
13	1509	1010	2053	1635	1766	1491	1245	2146	1013	2053	2018	1010	1262	2053	1579	13
14	2089	1013	1343	1081	2175	1070	1343	1635	1528	1081	1766	2202	1491	2089	1766	14
15	1245	2208	1803	2018	2089	1672	1803	1763	1262	1070	1245	1635	2146	1013	1528	15
16	1528	1763	2202	1579	1010	2208	2053	2018	2089	1509	1343	1672	1763	2018	1070	16
17	1070	2175	2146	1509	1262	1013	2202	1579	1010	1491	2208	1803	1081	1509	1343	17
18	1672	1766	1635	1245	1528	1766	1081	2175	2146	1013	2053	1262	2175	1579	1245	18
19	2053	2089	1081	1491	1343	1763	1070	1245	1672	1766	2018	2089	1010	1491	2053	19
20		1013	2018	1803	1672	2089	1635	1262	1528	2202	1635	1070	1528	1766	2208	20
21			1010	2202	2175	2053	2018	2208	1509	1763	1579	1343	2146	1763	1262	21
22				1509	2146	1579	1013	1803	1491	1010	1245	1081	1803	2018	1635	22
23					1766	1081	1343	2146	2175	2053	1013	1672	1509	2175	1579	23
24					1528	1010	1763	1070	1766	2089	1262	2208	2202	2053	1491	24
25						1672	1245	1635	2202	2018	1528	1635	1010	1070	1013	25
26								1509	2208	1579	1343	1763	2146	1766	1343	26
27								1803	1013	1081	1491	1803	1245	2089	1262	27
28									2175	1010	1672	1070	2175	2018	1081	28
29																29
30																30

Se muestran 15 de las 38 columnas de la zona 1 del huerto, con un número variable de filas. Notar que el rameto con el código único 2053, localizado en las coordenadas (1,1), se vuelve a repetir en las coordenadas (4,5), (5,9), (8,2), (10,6) y en otras.

Figura N° 5
PORCIÓN DEL PLANO DEL HUERTO SEMILLERO CLONAL DE ROBLE HUILLILEMU,
PLANTADO A UN ESPACIAMIENTO DE 5X5 METROS.

Es importante destacar que el diseño final es una mezcla de la información del inventario de los injertos, la biología reproductiva, los valores genéticos, la maximización de las ganancias genéticas bajo restricciones de parentesco, la minimización de la endogamia y la disponibilidad de superficie en el predio Huillilemu.

Plantación del Huerto

Una vez dispuestas todas las estacas a un espaciamiento de 5x5 m, de acuerdo al diseño establecido, se procedió a trasladar los injertos de cada clon a su respectiva posición de plantación, especificada en el plano del huerto. Durante este procedimiento se verificó rigurosamente que cada rameto se plantara exactamente en el lugar que le correspondía, de acuerdo al plano.

La plantación se realizó en casillas de 40 x 40 y 40 cm, previamente mullidas. Este trabajo se realizó en una superficie de un metro cuadrado que se limpió en forma previa. Después de cada día de plantación se cubrió con "parafilm" la cicatriz de injertación de cada rameto, y se

rodeó al mismo con un protector de malla raschell (sombra 50%) de un metro de altura, sostenida por tres estacas de madera alrededor de cada planta. Con esto último se pretende brindar protección para evitar la insolación y proteger a los rametos del ataque de lagomorfos. En la Figura N° 6 se muestra una secuencia fotográfica de las actividades descritas.



Figura N° 6
PREPARACIÓN DE CASILLAS, PLANTACIÓN E INSTALACIÓN DE PROTECTOR DE MALLA
RASHELL (6 IMAGENES SUPERIORES)
DETALLE DE ETIQUETA IDENTIFICATORIA DE CADA RAMETO Y DE LA ZONA DE
INJERTACIÓN PROTEGIDA CON PARAFILM (2 IMÁGENES INFERIORES)

Finalmente, en la Figura N° 7 se muestran imágenes del huerto plantado y del equipo que participó en su plantación.



Figura N° 7
VISTA AÉREA Y ASPECTO GENERAL A NIVEL DEL SUELO DEL HUERTO DE ROBLE
ESTABLECIDO EN HUILLILEMU (IZQ.)
DETALLE DE LOS RAMETOS PLANTADOS Y EQUIPO DE TRABAJO QUE REALIZÓ LA
PLANTACIÓN (DER.)

Manejo del Huerto

Para generar una adecuada producción de semillas en el futuro el huerto deberá ser objeto de algunas medidas de manejo. Entre ellas deberán considerarse las siguientes (Granhof, 1991):

- **Control de Malezas y Manejo de Praderas**

Durante los primeros años del huerto, las plantas deberán mantenerse libres de maleza, ya sea mediante control químico o mecánico. Es aconsejable mantener una cobertura herbácea para prevenir la erosión, mejorar las condiciones para el paso de los equipos y reducir la compactación.

- **Riego y Fertilización**

La combinación de riego y fertilización tiene un positivo efecto sobre la producción de flores frutos y semillas, por lo mismo deberá planificarse un esquema regular de fertilización, inicialmente destinado a crecimiento y formación de copa y posteriormente orientado a producción

de flores. De igual forma se deberá considerar la implementación de medidas que permitan el riego del huerto al menos durante los periodos estivales. Si bien existen antecedentes de que el estrés hídrico podría estimular la producción de flores, no es justificable amenazar la supervivencia ni sanidad de las plantas por falta de agua en periodos críticos de su desarrollo. Se debe estudiar la factibilidad de establecer un "mulch" para mejorar la retención de la humedad alrededor de cada rameto.

- **Protección**

Las medidas de manejo del huerto deberán considerar proveerle protección contra los posibles daños causados por pisoteo y ramoneo de animales. Deberá considerarse la construcción de cortafuego y la prevención de ataque de insectos u otras plagas y enfermedades. Se debe poner especial cuidado en la mantención de la barrera de polen establecida para minimizar la contaminación de fuentes externas de polen.

- **Podas y Formación de Copa**

Su función será conformar una estructura de copa simpódica, sin desarrollo monopódico en altura, que favorezca la generación de una abundante ramificación lateral de distintos órdenes donde se desarrollen numerosas yemas florales. Esta operación aumenta la producción de semillas y también facilita la obtención de las mismas

- **Reguladores de Crecimiento para Inducción Floral**

Una vez que los árboles del huerto alcancen un adecuado desarrollo de sus copas, será conveniente diseñar y aplicar un tratamiento hormonal de inducción floral. Para estos efectos resulta de utilidad utilizar productos basados en paclobutrazol, el que junto con estimular la formación de yemas florales, tiene un efecto secundario reduciendo la elongación de brotes y el crecimiento vegetativo, lo que resulta muy conveniente para evitar el desarrollo en altura de los árboles del huerto, favoreciendo así la colecta de sus semillas. Es posible complementar estas acciones con una adecuada poda apical o *topping*, que ayudará a promover ramas laterales y finalmente permitirá disminuir la altura del rameto de modo de facilitar labores de cosecha de semilla y de manejo del huerto.

- **Raleos**

Atendiendo al espaciamiento con que se estableció el huerto, no será necesario efectuar raleos para controlar la competencia entre árboles. Esta intervención se reservará solo para extraer árboles como medida sanitaria y fundamentalmente para depurar el huerto, una vez que se disponga de información de su ensayo de progenies. En esa ocasión el raleo se orientará a eliminar los clones cuyas progenies sean de menor desempeño.

- **Registros**

Mantener un adecuado registro de la información e historia del huerto es fundamental para orientar su manejo. Es necesario mantener la identidad y localización de cada árbol, el registro de las intervenciones efectuadas y el efecto de las mismas, así como toda la información de interés respecto a floración y producción de semillas en cada temporada.

CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo efectuado se logró establecer un huerto semillero clonal de roble en el predio Huillilemu en la región de Los Ríos. El diseño de este huerto tuvo especial consideración en maximizar las ganancias y diversidad genética, al tiempo que minimiza la endogamia y cruzamiento entre clones emparentados. El huerto consta de 22 clones con un número variable de rametos por clon, que depende del valor de mejora en DAP de cada clon y de su parentesco con los restantes clones del huerto.

La unidad establecida constituirá una adecuada fuente de semilla mejorada que contribuirá con material genético idóneo para labores de plantación, enriquecimiento, restauración o compensación.

La mantención y manejo futuro del huerto será efectuada conjuntamente por CONAF e INFOR. La colaboración de ambas instituciones ofrece garantías respecto a la pertinencia técnica del manejo del huerto, así como de su cuidado y conservación en el largo plazo.

RECONOCIMIENTOS

En primer lugar los autores desean agradecer a la asociación gremial APROBOSQUE AG, por su permanente preocupación en pro del desarrollo económico del bosque nativo, así como su esmerada preocupación por mantener y proteger la red de ensayos de progenie y procedencia de roble y raulí establecida el año 2000, y gracia a lo cual se pudo establecer este huerto de roble de generación avanzada.

La instalación del huerto descrito se realizó gracias a la disponibilidad de superficie en el predio Huillilemu de la Corporación Nacional Forestal, la experiencia del Grupo de Conservación y Mejoramiento Genético del Instituto Forestal y el apoyo y sugerencias del Administrador del predio, Sr. German Clasing. Los autores agradecen al capataz del predio Huillilemu, Sr. Jesús Cofré, por su apoyo en la confección, mantención y cuidados culturales de los injertos empleados para establecer el huerto, así como en la habilitación y supervisión de la plantación de los rametos. Hacen un especial reconocimiento a la Corporación Nacional Forestal por su aporte de insumos y personal del Programa Pro Empleo (PPE). También agradecen al Sr. Rodrigo Sagardía por la colaboración prestada con el software QGIS; y a la Sra. Teresa Parada por su participación en la logística de colecta y traslado de púas para la injertación.

El análisis genético del ensayo de progenie y procedencia se realizó gracias al apoyo de MINAGRI.

REFERENCIAS

Bondesson, L., and Lindgren, D., 1993. Optimal utilization of clones and genetic thinning of seed orchards. *Silvae Genet.* 42(4-5): 157–163.

El-Kassaby, Yousry, 2003. Clonal-row vs. Random seed orchard designs: Mating pattern and seed yield of western hemlock (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.). *Forest genetic* 10(2): 121-127

Emhart, V.; Hernández, M. y Jofré, J., 2000. Injertación en *Nothofagus alpina* y *N. obliqua*. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V. (Eds). Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble. Universidad Austral de Chile, Instituto Forestal. Valdivia. Cap 6, pp: 257-282.

Faulkner, R., 1975. Seed Orchards. Forestry Commission Bulletin N° 54. Faulkner R. (ed). London, England. 149 p.

Giertych, M., 1975. Seed orchard design. In: Faulkner, R (Ed.) Forestry Commission Bulletin N° 54. England. Pp: 25-33.

Gilmour, A.; Cullis, B.; Welham, S. y Thompson, R., 1999. ASREML. Beta Version. 177 p.

Granhof, J. (recopilador), 1991. Mass production of improved material (2nd part). Seed orchards: concepts, design and role in tree improvement. Class Note N° D-8. Humlebaek, Denmark. Pp: 19-53.

Ipinza, R.; Perez, E.; Apolaza, L. y Crespell, P., 1993. Décimo Informe Anual (1993). CMG/UACH/CONAF/Empresas Forestales. Serie Técnica. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 78 p.

Ipinza, R.; Perez, E.; Apolaza, L.; Crespell, P. y Morales, E., 1994. Informe Anual Decimoprimer (1994). CMG/UACH/CONAF/Empresas Forestales. Serie Técnica. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 82 p.

Ipinza, R.; Emhart, V; Gutiérrez, B. y Molina, M., 1998. Mejoramiento Genético para Especies de *Nothofagus*: Una Pauta Sencilla. Chile Forestal N° 257. Enero y febrero 1998.

Lindgren, D., Libby, W. S., and Bondesson, F. L., 1989. Deployment to plantations of numbers and proportions of clones with special emphasis on maximizing gain at a constant diversity. *Theor. Appl. Genet.* 77(6): 825–831.

Lindgren, D., and Matheson, A. C., 1986. An algorithm for increasing the genetic quality of seed from seed orchards by using the better clones in higher proportions. *Silvae Genet.* 35(5-6): 173–177.

Lstibůrek, Milan and El-Kassaby, Yousry, 2007. Advanced Generation Seed Orchard Designs. Papers presented at the Seed Orchard Conference. Umea, Sweden. 26-28 Sept, 2007. En: <http://daglindgren.upsc.se/Umea07/Proceedings/LstiburekDesign.pdf> (consulta julio 2016).

Lstibůrek, M. y El-Kassaby, Y., 2010. Minimum-Inbreeding Seed Orchard Design. *Forest Science* 56(6). 603-608.

Mullin, T., 2014. OPSEL 1.0: A computer program for optimal selection in forest tree breeding. Arbets rapport. Från Skogforsk nr. 841–2014. Skogforsk.

Prescher, F., 2007. Seed Orchards: Genetic Considerations on Function, Management and Seed Procurement. Doctoral thesis. Department of Forest Genetics and Plant Physiology. Faculty of Forest Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå, Sweden.

Zobel, B. y Talbert, J., 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Editorial Limusa S.A. de C.V. México. 545 p.

VARIACION GENETICA DEL INDICE DE RAJADO DE ROLLIZOS EN *Eucalyptus dunnii* Maiden.

López, Juan⁸; Borralho, Nuno⁹; López, Augusto¹⁰,
Marcó, Martín¹¹ y Harrand, Leonel¹¹

RESUMEN

En la Mesopotamia Argentina *Eucalyptus dunnii* Maiden ha mostrado excelente adaptación y velocidad de crecimiento, menor susceptibilidad a las bajas temperaturas y alta densidad de la madera. No obstante, posee tensiones de crecimiento elevadas y baja estabilidad dimensional, con lo cual, su utilización para usos sólidos de alto valor no tiene buena aceptación en el sector industrial.

En los años 1991 y 1992 el INTA¹² instaló una serie de ensayos de orígenes/progenies en varios sitios de la Mesopotamia. Algunos de dichos ensayos fueron raleados y transformados en Huertos Semilleros de Progenies utilizando un Índice Combinado de Selección a través del cual fue posible capturar el 87% y 70% de la máxima ganancia genética posible para volumen y forma, respectivamente.

Con el objetivo de estimar parámetros genéticos e identificar en esa población seleccionada (por volumen y rectitud del fuste) individuos con bajo nivel de tensiones de crecimiento, mayor estabilidad dimensional y una densidad de la madera similar al promedio de la especie a los 20 años de edad, uno de dichos huertos fue sometido a un muestreo destructivo.

En este trabajo se presentan los resultados referidos a las tensiones de crecimiento cuantificadas indirectamente utilizando un Índice de Rajado (IRr) que fue medido a las 72 horas posteriores al corte en las 4 caras de los 2 primeros rollizos comerciales.

El material estudiado involucró 72 familias de polinización libre de las cuales 60 corresponden a material salvaje cosechado en el área de distribución natural de la especie y 12 a selecciones realizadas en forestaciones comerciales en Argentina correspondientes al origen Moleton, NSW. La información fue analizada utilizando la metodología de modelos mixtos (análisis REML-BLUP).

Los resultados muestran una importante variación genética del IRr evidenciando que dicha propiedad se encuentran bajo un fuerte control genético (h^2 : $0,48 \pm 0,21$). La heredabilidad del volumen fue moderada (h^2 : $0,19 \pm 0,10$) y levemente superior que la obtenida a edades más jóvenes.

Los parámetros estimados indican que es posible esperar un cambio significativo en la reducción de las tensiones de crecimiento de *E. dunnii* aplicando estrategias convencionales de mejoramiento genético.

Se discuten las futuras estrategias para movilizar y rescatar dichos ejemplares sobresalientes a efectos de utilizarlos en el Programa de Mejoramiento Genético del INTA para madera de usos sólidos de alto valor.

Palabras clave: Tensiones de crecimiento, parámetros genéticos, *Eucalyptus dunnii*

⁸ INTA EEA Bella Vista. Corrientes. Argentina. jlopez@correo.inta.gov.ar

⁹ Consultor en Genética Forestal e Investigador Asociado del Centro de Estudos Florestais, Univ. Técnica de Lisboa. Portugal.

¹⁰ Consultor Proyecto PMSRN BIRF 7520 AR. Bella Vista. Corrientes. Argentina

¹¹ INTA EEA Concordia. Entre Ríos. Argentina

¹² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina

SUMMARY

In the Argentinean Mesopotamia region, *Eucalyptus dunnii* Maiden has shown excellent adaptation and growth, less susceptibility to low temperatures and high wood density. However, it has high growth stresses and poor dimensional stability, thus industry has not accepted its use for high value solid wood.

During 1991-92 INTA established a series of provenance/progeny trials in different locations of the Mesopotamia. Some of these trials were thinned and converted into Seed Orchards using a Combined Selection Index which captured 87% and 70% of the maximum genetic gain possible in volume and stem straightness, respectively.

In one of these seedling seed orchards, a destructive sample was carried out in order to estimate genetic parameters and identify in the population, previously selected for volume and stem straightness, individuals with low levels of growth stress, greater dimensional stability and wood density similar to the average for the species at age 20 years.

In this work are reported the results on growth stress, as indirectly quantified using a Log end Splitting ratio (IRr), in the 4 sides of the 2 first commercial logs, measured 72 hours after cutting the trees,.

The study included 72 open-pollinated families of which 60 are from seed collected in the natural area of distribution of the specie in Australia, and 12 from selections done in commercial plantations in Argentina (Moletón provenance, NSW). The information was analyzed using a mixed model approach (REML-BLUP analysis).

The results show an important genetic variation for IRr, giving evidence that such property is under strong genetic control ($h^2 = 0,48 \pm 0,21$). The heritability for volume was moderate ($h^2 = 0,19 \pm 0,10$) and slightly higher than the one obtained at a younger age.

These estimated parameters suggest that significant reduction in growth stress of *E. dunnii* could be achieved by applying conventional selection strategies in genetic improvement programs.

Future strategies are discussed in order to move and rescue such plus individuals to use them in the INTA's Genetic Improvement Programme for high value solid wood uses.

Key words: Growth stress, genetic parameters, *Eucalyptus dunnii*

INTRODUCCION

Eucalyptus dunnii fue introducido en Argentina en 1979 como parte de una red de ensayos de especies realizado por la empresa Celulosa Argentina SA (Maradei, 1987). Los primeros ensayos con material recolectado en el área de distribución natural de la especie fueron instalados por el INTA y el CIEF entre 1980 y 1986.

A partir de dichas introducciones, los principales resultados evidenciaron excelente adaptación y velocidad de crecimiento. Así, en la región templada-húmeda de Argentina (norte de Buenos Aires y sur de Santa Fé) *E. dunnii* supera en crecimiento a *E. grandis* y a los mejores orígenes de *E. viminalis* (Maradei, 1987; Alliani *et al.*, 1990). En la Mesopotamia argentina, en la región templada-cálida (noreste de Entre Ríos) *E. dunnii* desarrolló crecimientos similares o levemente inferiores a *E. grandis* (Marcó *et al.*, 1991; Marcó y López, 1995) y en la región subtropical (norte de Corrientes, sur y centro de Misiones) fue superado por los orígenes más productivos de *E. grandis* (Marcó *et al.*, 1991; Baez, 1991).

Uno de los principales atributos de *E. dunnii*, en coincidencia con los resultados obtenidos en otros países (Darrow, 1995; Higa *et al.*, 1997), se refiere a su mayor tolerancia a las bajas temperaturas. Esta condición fue comprobada desde las primeras observaciones realizadas en Argentina (Pujato *et al.*, 1983; Maradei, 1987; Perucchi, 1991) posicionando muy bien a la especie para algunas regiones y sitios donde el riesgo frecuente de heladas hacen menos recomendable el cultivo de *E. grandis*.

En cuanto a propiedades de la madera y posibilidades de uso la información disponible en Argentina indica que *E. dunnii* posee madera medianamente pesada (entre 500-700 Kg/m³) con una densidad promedio, dependiendo de la edad, entre 28% y 37,6% superior a la de *E. grandis* (Repetti, 1987; Sparnochia, 1991; López y Staffieri, 2003). No obstante, de manera desfavorable en relación a *E. grandis*, presenta alta contractibilidad radial y tangencial, así también mayor nivel de tensiones de crecimiento lo cual le confiere mayor susceptibilidad al rajado, abarquillado, combado y colapso (Sparnochia, 1991; López, 2005). Similares resultados fueron logrados en Sudáfrica, Brasil y Australia (Stanger, 1993; Rocha, 2000; Harwood *et al.*, 2005). Por dicha razón y a pesar de su excelente adaptación, velocidad de crecimiento y mayor tolerancia a las heladas, la utilización de *E. dunnii* para usos sólidos de alto valor no tiene buena aceptación en el sector industrial de la Mesopotamia argentina.

Con el fin de incrementar la base genética del programa de mejoramiento de la especie, entre 1991 y 1992 el INTA instaló una serie de ensayos de orígenes/procedencias/progenies en 6 sitios de la Mesopotamia (Marcó y López, 1993). A una edad promedio de 5 años se realizaron las estimaciones de ganancia genética utilizando un índice combinado de selección a través del cual fue posible capturar el 87% y 70% de la máxima ganancia posible para volumen y forma, respectivamente (Marcó and White, 2002). Haciendo uso de dicha información, a los 11 años de edad, 2 ensayos ubicados en la provincia de Entre Ríos fueron raleados y transformados en Huertos Semilleros de Progenies. A efectos de mantener la diversidad genética y procurando el mayor equilibrio posible en cuanto a la distribución espacial se conservaron entre 6-8 individuos de las familias con mejor comportamiento, 3-5 individuos de las familias de comportamiento intermedio y 1-2 ejemplares de las de peor comportamiento. Al mismo tiempo, los genotipos de mayor ganancia genética fueron movilizadas vía injerto e instalados en un Huerto Semillero Clonal en el Instituto de Recursos Biológicos del INTA Castelar, donde las condiciones climáticas son muy favorables para la producción de semilla (34° 37' S, 58° 40' O).

Debido a la baja producción de semilla registrada en el Huerto Semillero de Progenies ubicado en Ubajay, Entre Ríos (31° 45' S, 58° 15' O) y dada la creciente importancia de la especie para la región, a los 20 años de edad, dicho huerto fue sometido a un muestreo destructivo con el objetivo de estimar parámetros genéticos e identificar en esa población seleccionada (por volumen y rectitud del fuste) individuos con bajo nivel de tensiones de crecimiento, mayor estabilidad dimensional y una densidad de la madera similar al promedio de la especie. En este trabajo se presentan los resultados referidos a las tensiones de crecimiento cuantificadas indirectamente utilizando un Índice de Rajado en rollizos.

MATERIALES Y METODOS

En el Cuadro N° 1 se describen los materiales evaluados. Para el agrupamiento de las fuentes de semilla se mantuvo lo realizado por Marcó and White (2002) quienes asociaron orígenes con pocas familias a orígenes con un mayor número de familias cosechadas en similares localidades de Australia.

Si bien el total de árboles cortados fue de 329, con el fin de evitar posibles alteraciones en la expresión de las rajaduras en las caras de los rollizos, 6 ejemplares no fueron colectados por tener quebrada la copa, presentar daños mecánicos anteriores en el tercio inferior del fuste o por haber sufrido golpes severos y/o torsiones al momento del apeo. Otros 6 árboles no fueron incluidos en el análisis (3 familias con un solo representante y 3 individuos *outliers*) con lo cual el número total de individuos analizados fue de 317. Estos representan a 72 familias de medio-hermanos con 2 a 8 individuos por familia.

Cuadro N° 1
DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES EVALUADOS DE *E. dunnii*

Fuentes de Semilla	Origen/Procedencia	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)
BCUN	-Boomi Creek, NSW (10)	28° 25´ S	152° 41´ E	300
	-Unumgar S.F., 10 km East of Woodenbong, NSW (2)	28° 25´ S	152° 42´ E	300
DHAC	-Death Horse Track Region, Est of Legume, NSW (26)	28° 25´ S	152° 20´ E	600-700
	-Acacia Creek , a 25 km NNW of Urbenville, NSW (4)	28° 23´ S	152° 20´ E	600-750
OC	-Oak Creek, NSW (9)	28° 36´ S	152° 31´ E	520
SÝ	-South Yabra S.F., NSW (9)	28° 36´ S	152° 29´ E	540
SD	-Individuos seleccionados en plantaciones comerciales del origen Moleton (NSW) en Oliveros, Santa Fe, Argentina (12)	32° 33´ S	60° 51´ O	27



Figura N° 1
ROLLIZOS DE *E. dunnii* CON LOS EXTREMOS CUBIERTOS CON BOLSAS PLÁSTICAS

Todos los individuos fueron cortados durante la misma semana. Antes del corte se midió el diámetro a 1,30 m de altura (DAP) y la altura total (ALT). Con dicha información se calculó el factor de estabilidad (FE) a través de la razón DAP/ALT. Dado que en la región no existen desarrolladas funciones de volumen para *E. dunnii*, las estimaciones de los volúmenes individuales con corteza expresados en m³ (VOL) fueron procesadas con la ecuación propuesta por Glade y Field (1988) para *Eucalyptus grandis*:

$$VOL = \exp[-9,9616718 + 1,8234264 \cdot \ln(DAP) + 1,0697836 \cdot \ln(ALT)]$$

Para estimar la intensidad de las tensiones de crecimiento, los ejemplares fueron cortados manualmente con motosierra elaborándose en cada uno de ellos, a partir de 1,30 m de altura, 2 rollizos consecutivos de 2,50 m de longitud. Inmediatamente después del trozado, los extremos de ambos rollizos fueron cubiertos con bolsas plásticas a efectos de mantener la humedad natural y retardar el proceso de secado, retracción y colapso (Figura N° 1). De esta manera las rajaduras observadas, casi exclusivamente, pueden atribuirse a la liberación de las tensiones de crecimiento (Figura N° 2).

Luego de transcurridas 72 horas, en los extremos de ambos rollizos se tomaron imágenes con una cámara digital de uso común de 8,1 Mega pixels. Estas imágenes fueron procesadas en gabinete utilizando un software libre (Sistema Abierto de Información Geográfica Kosmo 2.0 (<http://www.opengis.es/>)). El Índice de Rajado en rollizos (IRr) adoptado fue el propuesto por Lima, 2000 (citado por Santos, 2002) que relaciona el área ocupada por las rajaduras y el área total de la sección transversal que contiene a esas rajaduras (cara del rollizo):

$$IRr (\%) = \frac{\sum(A_i \cdot L_i)}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \times 100$$

Donde: A_i : abertura máxima de la rajadura i ($i=1, \dots, n$);
 L_i : largo de la rajadura i ($i=1, \dots, n$)
 D: diámetro medio de la sección transversal.

El IRr a través del cual fue caracterizado cada individuo corresponde al promedio de los 4 IRr obtenidos de los extremos de los 2 rollizos elaborados.

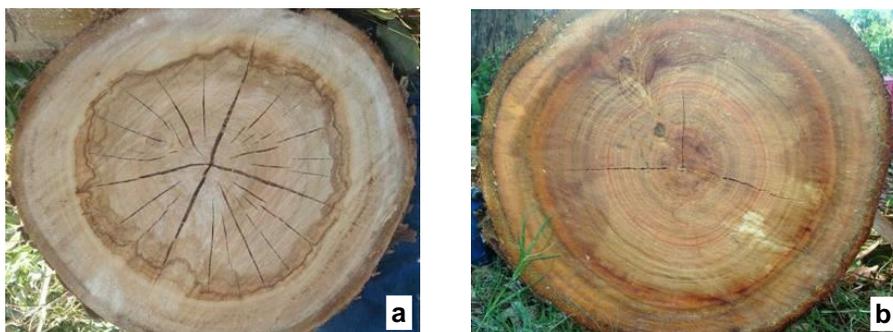


Figura N° 2
VISTA DE DOS CARAS CONTIGUAS DE *E. dunnii* 72 HORAS POSTERIORES AL TROZADO
(a) SIN COBERTURA Y (b) CON COBERTURA

Como sugerido por Wei and Borralho (1998) se procesó un análisis trivariado combinando la información del IRr (y_1) medido al 20º año en los 317 árboles con las mediciones de VOL y FE de todos los individuos del ensayo original al 6º año (y_2) y la del 20º año (y_3) después del raleo.

Este procedimiento se realizó con el objetivo de corregir posibles sesgos producto del raleo temprano. El modelo asumió a las repeticiones y fuentes de semilla como fijos y al efecto de familias como aleatorios. El modelo lineal utilizado, en notación matricial, se consigna a continuación:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}$$

Donde: y_1, y_2, y_3 es el vector de observaciones
 b_1, b_2, b_3 el vector de repeticiones (fijos)
 s_1, s_2, s_3 el vector de Fuentes de Semilla (fijos)
 f_1, f_2, f_3 el vector de familias (aleatorio)
 e_1, e_2, e_3 : vector de los residuos asociados a dichos efectos
 $X_{1,2,3}; W_{1,2,3}$ y $Z_{1,2,3}$ corresponden a las respectivas matrices de incidencia y O son matrices nulas.

Para comprobar la significancia de los efectos de las Fuentes de Semilla, se usó el test aproximado de Wald, multiplicando el test F obtenido en AsReml por los grados de libertad de las Fuentes de Semilla (4) y comparándolo a una distribución de Chi cuadrado con 4 grados de libertad.

La estimaciones de los componentes de varianza y covarianza fueron obtenidas utilizando el programa AsReml (Gilmour *et al.*, 1999). Las familias de polinización libre fueron asumidas como medio-hermanos con un coeficiente de parentesco de 0,33. Las heredabilidades (h^2) y las correlaciones genéticas (r_g) entre caracteres fueron calculadas como:

$$h^2 = \frac{3,3\sigma^2 f}{(\sigma^2 f + \sigma^2 e)} \quad r_{g(x,y)} = \frac{\text{Cov}_{f(x,y)}}{\sqrt{(\sigma^2 f(x) \sigma^2 f(y))}}$$

Donde: $\sigma^2 f$ y $\sigma^2 e$ son las variancias de los efectos de familias y residuales.
 $\text{Cov}_{f(x,y)}$ es la covarianza entre las variables x e y .

Los errores estándar aproximados de la heredabilidad y de las correlaciones genéticas se estimaron usando la expansión de Series de Taylor (Lynch and Walsh, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro N° 2 se consignan los valores medios, desvíos, valores máximos y mínimos de las características evaluadas al 20º año.

La significativa amplitud observada en las variable VOL, tal como comentado en antecedentes, se debe a que la población de producción evaluada (Huerto Semillero de Progenies) estuvo constituida por los mejores individuos de todas las familias del ensayo original, con lo cual, en el mismo coexistían ejemplares de alto, medio y bajo crecimiento.

En cuanto al nivel de tensiones de crecimiento, estimado indirectamente a través del IRr, también se observó una gran amplitud y un alto valor medio.

Cuadro N° 2
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA ÍNDICE DE RAJADO ROLLIZOS (IRr), FACTOR DE ESTABILIDAD (FE) Y VOLUMEN INDIVIDUAL (VOL) DE LOS 317 INDIVIDUOS DE *E. dunnii* ANALIZADOS A LOS 20 AÑOS DE EDAD

	IRr (%)	FE (DAP/ALT)	VOL (m³)
Media	1,015	1,042	1,4169
Desvío	0,588	0,132	0,5537
Mínimo	0,205	0,759	0,4016
Máximo	3,515	1,483	3,6346

El histograma presentado en la Figura N° 3 muestra las frecuencias relativas por clases de IRr de los 317 individuos de *E. dunnii* analizados. Allí se observa una distribución sesgada hacia la derecha (valores altos de IRr) y una evidencia de moderada no normalidad donde, considerando lo sugerido por López *et al.* (2009) para *E. grandis* utilizando el mismo IRr que el ocupado en este trabajo, el 61,6% de la población muestreada manifestó IRr Altos y Muy Altos (IRr superiores a 0,74).

El alto nivel de tensiones de crecimiento de *E. dunnii* es coincidente con lo obtenido por Murphy *et al.* (2005) quienes al analizar 52 familias de polinización libre al 8° año de edad, mencionan que más del 90% de los ejemplares estudiados evidenciaron altos niveles de tensión.

No obstante, en la población analizada en el presente trabajo también se detectaron ejemplares con menor nivel de tensiones de crecimiento. En este sentido, en las 3 primeras clases de IRr (Figura N° 3) se constató la presencia de 1 individuo con IRr Muy Bajo, 49 con IRr Bajo y 72 con IRr Medio, representando en relación al total de individuos muestreados el 0,32%, 15,4% y 22,7%, respectivamente.

Sin duda dichos porcentajes fueron significativamente inferiores a los detectados por López (2008) para un grupo de selectos por volumen, rectitud del fuste y densidad de la madera de *E. grandis* al 12° año de edad, donde el 83,4% de los ejemplares analizados expresaron IRr inferiores a 0,75 (Figura N° 4).

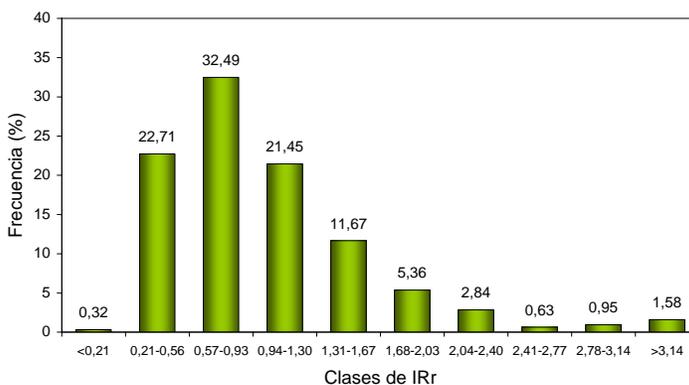


Figura N° 3
FRECUENCIAS RELATIVAS POR CLASES DE IRr DE *E. dunnii* a LOS 20 AÑOS DE EDAD

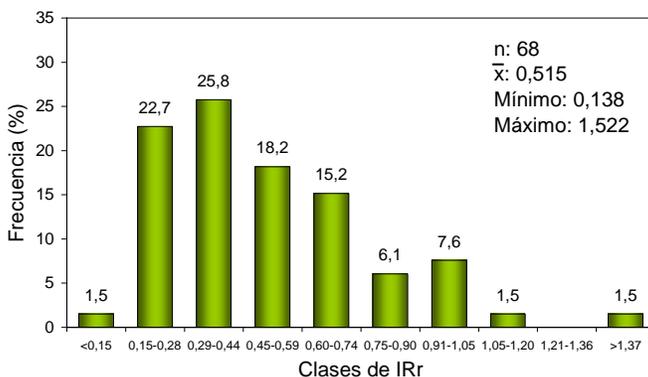


Figura N° 4
FRECUENCIAS RELATIVAS POR CLASES DE IRr DE 68 INDIVIDUOS SELECTOS
DE *E. grandis* A LOS 12 AÑOS DE EDAD EN 3 SITIOS DEL NORESTE DE ARGENTINA

En el Cuadro N° 3 se puede observar que los efectos de fuentes de semilla solo fueron significativos para IRr, con una probabilidad de 2,4%.

La procedencia local SD (Individuos seleccionados en plantaciones comerciales del origen Moleton, NSW) tuvo un valor de IRr claramente inferior al de los restantes materiales salvajes evaluados.

No obstante, tal como presentado en la Figura N° 5, se destaca una importante variación a nivel familiar pudiendo distinguirse en cualquiera de las fuentes de semilla, familias de Bajo, Medio y Alto IRr.

Así mismo, dentro de cada familia la magnitud de la variación individual, en la mayoría de los casos fue muy alta. En este sentido, el coeficiente de variación intrafamiliar en promedio fue de 41,9% ±18%.

Cuadro N° 3
VALORES ESTIMADOS DEL EFECTO FUENTE DE SEMILLA
PARA IRr, FE Y VOL EN *E. dunnii* A LOS 20 AÑOS DE EDAD

Fuente de Semilla	IRr (%)	FE (cm/m)	VOL (m ³)
BCUN	1,460	0,915	1,291
DHAC	1,115	0,989	1,460
OC	1,104	0,950	1,464
SY	1,350	0,928	1,238
SD	1,029	0,939	1,414
Prob (Wald test)	0,024	0,196	0,326

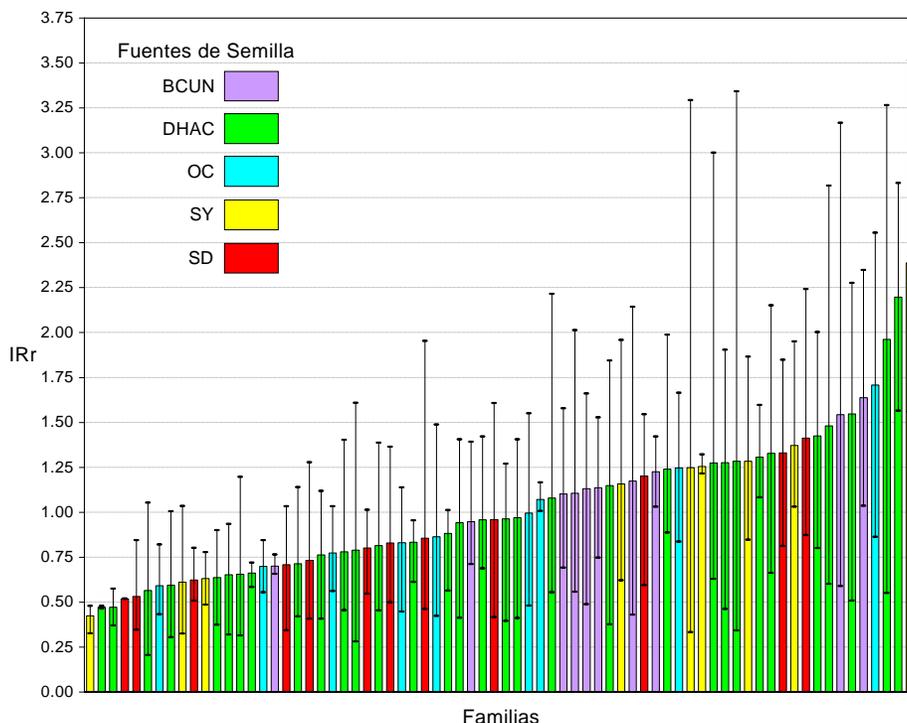


Figura N° 5
VALORES MEDIOS FAMILIARES Y EXTREMOS DE VARIACIÓN INTRAFAMILIAR
DEL IRr DE *E. dunnii* A LOS 20 AÑOS DE EDAD

La heredabilidad individual en sentido estricto del IRr fue alta ($h^2 = 0,482$) indicando un fuerte control genético de esta propiedad (Cuadro N° 4). El coeficiente obtenido es comparable al informado para *E. dunnii* y otras especies de *Eucalyptus*. En relación a ello, Murphy *et al.* (2005) al analizar 164 individuos pertenecientes a 52 familias de polinización libre de *E. dunnii* al 8° año de edad y utilizando la metodología no-destructiva sugerida por Yoshida and Okuyama (2002) determinaron una h^2 entre $0,32 \pm 0,17$ y $0,52 \pm 0,27$ dependiendo del coeficiente de parentesco asumido. Por su parte, Blackburn *et al.* (2011) al analizar 560 árboles de 129 familias de polinización libre de *E. nitens* de 14 años de edad y utilizando el IRr desarrollado por Yang and Pongracic (2004) detectaron una h^2 entre $0,28 \pm 0,09$ y $0,46 \pm 0,11$ en las caras basales y superiores de los rollizos analizados, respectivamente. Heredabilidades de menor magnitud fueron reportadas para familias de polinización libre de *E. grandis* por Santos (2002) y Bandara (2006) quienes informaron coeficientes de 0,31 y 0,13, respectivamente.

Las h^2 para VOL y FE a los 20 años fueron moderadas y levemente superiores a las estimadas para el 6° año de edad (entre 0,19 y 0,25).

En cuanto a las correlaciones genéticas se destaca la independencia entre IRr y VOL ($rg: -0,032$), aunque con un error de estimación elevado.

Por otro lado, el IRr mostró una asociación favorable con el FE ($rg = -0,420$) indicando que árboles con alta relación DAP/ALT tienden a manifestar menor nivel de tensiones de crecimiento (IRr) que los delgados y altos. Este resultado también fue detectado Murphy *et al.*

(2005) para *E. dunnii* y por Schacht *et al.* (2004) estudiando clones de *E. urophylla*. Estos últimos autores sugieren utilizar al factor de estabilidad (FE) como una medida de selección indirecta para disminuir el IRr.

Cuadro N° 4
HEREDABILIDAD, CORRELACIONES GENÉTICAS Y FENOTÍPICAS
DEL IRr, FE Y VOL DE *E. dunnii* A LOS 20 AÑOS DE EDAD

	IRr	FE	VOL
IRr	0,482 (0,21)	-0,089 (0.06)	0,009 (0,06)
FE	-0,420 (0,34)	0,255 (0.14)	0,649 (0,04)
VOL	-0,032 (0,35)	0,262 (0.49)	0,191 (0,10)

h^2 en la diagonal, r_f arriba de la diagonal, r_g debajo de la diagonal
 Error Estándar entre paréntesis

La magnitud de la heredabilidad del IRr indica que es posible esperar un cambio significativo en la reducción de las tensiones de crecimiento de *E. dunnii* aplicando estrategias convencionales de mejoramiento genético.

Cabe destacar que, cerca del 50% de los genotipos de mayor ganancia genética en volumen y rectitud del fuste que ya fueran movilizados con anterioridad vía injerto e instalados en un Huerto Semillero Clonal (HSC), evidenciaron ganancias genéticas en bajo nivel de tensiones de crecimiento. No obstante, con la información aquí presentada y sin pérdida significativa de crecimiento y forma, podría implantarse un nuevo HSC que reúna genotipos con bajo IRr a efectos de producir semilla comercial procedente de polinización abierta (PA).

Estos primeros resultados tienen una significativa connotación positiva para el desarrollo del programa de mejoramiento de la especie para uso sólido de alto valor. Pese a ello, otras propiedades de gran importancia como la densidad de la madera y fundamentalmente, la estabilidad dimensional (contracciones radiales, tangenciales y volumétricas) están siendo estudiadas a efectos de incorporar dicha información al conocimiento que se posee de esta población seleccionada por velocidad de crecimiento y rectitud del fuste.

Por otro lado, si bien *Eucalyptus grandis* es la especie más plantada en la Mesopotamia argentina con una productividad y calidad de la madera superior a la *E. dunnii* y con gran aceptación en el mercado doméstico, la misma es poco tolerante a las bajas temperaturas. Por lo tanto, la incorporación de mayor tolerancia al frío a través de un programa de hibridación con *E. dunnii* resultaría una excelente oportunidad.

En ese contexto, deberían utilizarse como progenitores masculinos a los genotipos con bajo nivel de IRr y mayor estabilidad dimensional (trabajo en ejecución) de *E. dunnii* y como progenitores femeninos a los mejores individuos del Programa de Mejoramiento de *E. grandis* que el INTA tiene en ejecución. Para ello, tendrían que establecerse Parques de Hibridación aislados a efectos de generar familias híbridas a través de cruzamientos controlados. Posteriormente establecer los ensayos de progenies híbridas para evaluar, seleccionar y clonar las mejores progenies e individuos.

REFERENCIAS

Alliani, R. C.; Bunse, G. C. y Gea, L. D., 1990. Red de ensayos de especies de eucaliptos en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. En: Jornadas sobre eucaliptos para la región Pampeana. CIEF, Buenos Aires, Argentina: 29-37

Baez, M., 1991. Crecimiento comparativo de *Eucalyptus grandis* y *E. dunnii* en el Norte de Corrientes y Sur de Misiones: resultados a los 5 años. En: Jornadas sobre eucaliptos de alta productividad. CIEF, Buenos Aires, Argentina. Tomo I: 73-87.

Bandara, K. M. A., 2006. Genetic improvement of solid wood product value of subtropical eucalypts: A case study of *Eucalyptus grandis* and *E. dunnii*. PhD thesis, Australian National University, Canberra, Australia, 215 pp.

Blackburn, D. P.; Hamilton, M. G.; Harwood, C. E.; Innes, T. C; Potts, B. M. and Williams, D., 2011. Genetic variation in traits affecting sawn timber recovery in plantation-grown *Eucalyptus nitens*. *Annals of Forest Science* 68:1187–1195

Darrow, W. K., 1995. Selection of Eucalypt species for cold and dry areas in South Africa. *En: IUFRO Conference Eucalypt plantations: Improving Fibre Yield and Quality*, Hobart, Australia: 336-338

Gilmour, A. R.; Cullis, B. R.; Welham, S. J. and Thompson, R., 1999. ASREML reference manual. *Biomet Bull* Nº 3, NSW Agriculture, Orange, Australia.

Glade, J. E. y Friedl, R. A., 1988. Ecuaciones de volumen para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el Noreste de Entre Ríos. VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero. Tomo II. pp: 416-420

Harwood, C.; Bandara, K.; Washusen, R.; Northway, R.; Henson, M. and Boyton, S., 2005. Variation in wood properties of plantation-growth *Eucalyptus dunnii* relevant to solid-wood products. *Proyect Report PN 04.3003*. Forest and Wood Product Research and Development Corporation, Australia. 37 p.

Higa, R. C. V.; Higa, A. R.; Trevisan, R. e Souza, M. V. R.. 1997. Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. *En: Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus*. Salvador. Anais, v1: Estratégias de melhoramento genético. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997: 106-110.

López (h.), J. A., 2005. Mejoramiento genético de la calidad de la madera. *En: I Jornada sobre potencialidad foresto industrial del eucalipto en Santiago del Estero*. UNSE. FCF: 6 p.

López (h.), J. A., 2008. Actividades-Resultados 4º trimestre 2008 (TC). Proyecto Específico: Mejoramiento genético de eucaliptos para usos de alto valor. PNFOR 1201-INTA. (Informe interno). 1 p

López (h.), J. A. y Staffieri, G. M., 2003. Variación radial de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* a los 21 años de edad. *En: XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos*. Concordia, Argentina. Actas en CD. 8 p.

López (h.), J. A.; Genes, P. Y.; Hernandez, M.; Marcó, M. A.; Harrand, L. y Oberschelp, J., 2009. Propiedades físicas, mecánicas y organolépticas de 10 clones de *Eucalyptus grandis* de 1ª generación del Programa de Mejoramiento Genético del INTA. EEA INTA Bella Vista. 26 p.

Lynch, M. and Walsh, B., 1998. *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.

Maradei, D., 1987. *Eucalyptus dunnii*: Primeros resultados en la Argentina. *En: Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales*. CIEF, Buenos Aires, Argentina, Tomo III: 43-52

Marcó, M. A.; Alliani, R. C.; Sanchez Acosta, M. y Rembado, G., 1991. *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en la Región Mesopotámica y su zona de influencia. *En: VI Jornadas Forestales de Entre Ríos*: 83-97.

Marcó, M. A. y López (h.), J. A., 1993. Estrategia de mejoramiento de *E. grandis* y *E. dunnii* en la Mesopotamia Argentina. *En: Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Actas Comisión IV "Ciencia y Técnicas Aplicadas". Paraná, Entre Ríos, Argentina: 9 p.

Marcó, M. A. and López (h.), J. A., 1995. Performance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in the Mesopotamia region, Argentina. *En: IUFRO Conference Eucalypt plantations: Improving Fibre Yield and Quality*, Hobart, Australia: 19-24.

Marcó, M. A. and White, T. L., 2002. Genetic parameter estimates and genetic gains for *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in Argentina. *Forest Genetics* 9 (3): 205-215.

Murphy, T. N.; Henson, N. and Vanclay, J. K., 2005. Growth stress in *Eucalyptus dunnii*. *Australian Forestry*. Vol. 68, Nº 2: 144-149

Perucchi, H. O., 1991. Evaluación de daños causados por las bajas temperaturas en ensayos de *Eucalyptus*. *En: Jornadas sobre eucaliptos de alta productividad*. CIEF, Buenos Aires, Argentina. Tomo I: 171-174.

Pujato, J.; Marlats, R. M. y Gimenez, S., 1983. *Eucalyptus dunnii*: datos sobre crecimiento y resistencia a las

heladas en el primer año. En: Actas V Congreso Forestal Argentino. Santa Rosa, La Pampa. Tomo II: 175-183.

Repetti, R., 1987. Situación y Aptitud Celulósica del Eucalipto en la Argentina. En: Segundas Jornadas del mes Forestal de Entre Ríos. Convenio Forestal INTA-IFONA-Provincia de Entre Ríos. Concordia, Argentina: 5-5.16.

Rocha, M. P., 2000. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 185 p.

Santos, P. E. T., 2002. Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênes de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidad de São Paulo. Piracicaba. 153 p.

Schacht, L.; Garcia, J. N. e Vencovsky, R., 2004. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. Scientia Forestalis nº 54, p: 55-68

Stanger, T. K. 1993. A preliminary investigation of the variation in bark thickness, density and susceptibility to splitting in *Eucalyptus dunnii* Maiden. ICFR Bulletin Series. Pietermaritzburg. South Africa. 3/93. 6 p.

Sparnochia, L. J., 1991. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de *Eucalyptus dunnii* cultivado en Oliveros, Provincia de Santa Fe. En: Jornadas sobre eucaliptos de alta productividad. CIEF, Buenos Aires, Argentina. Tomo II: 367-375

Yang, J. L. and Pongracic, S., 2004. The impact of growth stress on sawn distortion an log end splitting of 32-years-old plantation Blue Gum. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. Proyect N° P N03.1312. 34 p.

Wei, X. and Borralho, N. M. G., 1998. Use of Individual Tree Mixed Models to Account for Mortality and Selective Thinning When Estimating Base Population Genetic Parameters. Forest Science, Volume 44, Number 2, 1 May 1998 , pp. 246-253(8)

Yoshida, M. and Okuyama, T., 2002. Techniques for measuring growth stress on the xylem surface using strain and dial gauges. *Holzforschung* 56, 461–467

EVALUACIÓN DE SUPERVIVENCIA Y DESARROLLO INICIAL DE 42 PROGENIES DE PEUMO (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser) ESTABLECIDAS EN LA PROVINCIA DE ARAUCO, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE

Gutiérrez, Braulio¹³ y Chung, PatricioPo¹³

RESUMEN

Se analiza la supervivencia y crecimiento inicial de un ensayo de 42 progenies y 18 procedencias de peumo (*Cryptocarya alba*) de 15 meses de edad, establecido en la comuna de Cañete (Provincia de Arauco, región del Biobío).

Se evalúa también el efecto de dos tipos de protectores individuales de plantas sobre la supervivencia y crecimiento del ensayo.

El ensayo presenta alta supervivencia, pero un crecimiento muy modesto, observándose diferencias significativas de estas variables entre progenies (entre y dentro de las procedencias).

Se observa también un positivo efecto de los protectores de malla raschell en supervivencia y crecimiento en altura de las plantas.

Palabras clave: *Cryptocarya alba*, progenie, procedencia, crecimiento inicial, supervivencia, protectores individuales de plantas

SUMMARY

Survival and early growth of a 42 progenies and 18 provenances trial of peumo (*Cryptocarya alba*), established in the commune of Cañete (Province of Arauco, Biobío) was analyzed at 15 months old.

The effect of two kinds of individual tree shelters on survival and early growth of the trial was also evaluated.

The trial has high survival but a very modest growth, showing significant differences in these variables between progenies (between and within provenances).

A positive effect of raschell-net tree shelters over survival and height growth of the plants was observed.

Keywords: *Cryptocarya alba*, progeny, provenance, early growth, survival, tree shelters

¹³ Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Biobío. bguetierr@infor.cl; pchung@infor.cl

INTRODUCCIÓN

El peumo es un árbol nativo que crece desde el sur de la provincia del Limarí hasta la provincia de Cautín, siendo más abundante en la zona central de Chile que al sur de su distribución (Martin, 1989). Se le puede encontrar en la ladera occidental de la Cordillera de la Costa, el Valle Central y el sector andino, a altitudes que pueden llegar a los 1.500 msnm (Rodríguez *et al.*, 1983).

En su amplia distribución presenta una significativa variación que no ha sido cuantificada, pero que resulta evidente al comparar, por ejemplo, las características morfológicas de frutos colectados desde distintas procedencias (Chung, 2015).

La especie posee numerosos usos tradicionales que se aprovechan fundamentalmente en el mundo rural. Sus frutos son comestibles (Vogel *et al.*, 2008; Barreau y Salas, 2009; Chung, 2012) y tienen aplicación en gastronomía (Boragó, 2011 cit. por Chung, 2015); en medicina tradicional las infusiones de hojas y de corteza se usan para enfermedades hepáticas (Montes, 1987) y en hemorragias y reumatismos (Vogel *et al.*, 2008), existiendo diversas otras aplicaciones medicinales señaladas por distintos autores (Ibaca, 2001; Barreau y Salas, 2009); y el alto contenido de taninos y pigmentos de su corteza permite usarlo en el procesamiento de cuero y en la tintura de lana (Sapaj, 1998; Vogel *et al.*, 2008).

Peumos es además una especie muy adecuada para proteger las laderas de los cursos de agua y para la forestación de sectores húmedos y sombríos (Hoffmann, 1983); sus bosques son grandes productores de hojarasca, que se usa como tierra de hoja (Sapaj, 1998); se la utiliza también como ornamental, gracias a su follaje denso, siempreverde, brillante y de llamativos frutos rojos (Hoffmann, 1983); además se usa para leña y carbón, y como forraje para los animales (Martín, 1989; cit. por Vogel *et al.*, 2008).

Independiente de los usos anteriores, la especie concentra un creciente interés debido a atributos químicos de sus taninos, alcaloides y aceites esenciales. Diversos estudios han demostrado que componentes químicos extraídos desde especies de *Cryptocarya* exhiben actividad contra el cáncer, mientras que otros poseen efectos antibióticos de distinta naturaleza (Chung, 2015).

Para el género se han descrito del orden de 40 alcaloides, la mayoría de los cuales poseen propiedades antitumorales, bactericidas, antimicrobianos, fungicidas, insecticidas o antioxidantes (Toribio *et al.*, 2006). La reticulina, un alcaloide extraído del peumo, posee propiedades hepatoprotectoras (Montes y Wilkomirsky, 1985).

Por su parte, estudios efectuados con los aceites esenciales de las hojas de *Cryptocarya alba*, identifican 71 compuestos orgánicos volátiles (Karimi *et al.*, 2011), algunos de los cuales muestran actividad contra el protozoo causante del mal de Chagas, contra *Leishmania* spp¹⁴ (Schmeda-Hirschmann *et al.*, 2001) y contra *Staphylococcus aureus* (Avello *et al.*, 2012).

Según el Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile, el peumo se encuentra en la categoría de vulnerable en la Precordillera de Santiago (CONAF, 1989; Niemeyer *et al.*, 2002). Arancio *et al.* (2001), la incluyen en esta misma categoría (vulnerable) señalando que posee problemas de conservación en la región de Coquimbo.

En general las amenazas que enfrenta la especie provienen de la sobreexplotación y destrucción de su hábitat. Estos factores no solo producen una reducción del tamaño de la población y del flujo de genes, sino que también pueden provocar la eliminación total de las poblaciones locales; además, la fragmentación de sus bosques puede conducir al aislamiento genético de una población continua, lo que a su vez causaría más pérdida en la diversidad genética como resultado de la endogamia y la deriva genética (De Moraes *et al.*, 2002).

¹⁴ Agente causante de enfermedades que van desde úlceras cutáneas, hasta inflamaciones graves del hígado y bazo que pueden resultar fatales.

La diversidad de usos tradicionales de la especie, y fundamentalmente las aplicaciones potenciales de sus características químicas, junto con la variabilidad exhibida y las amenazas que enfrenta su conservación, motivaron al Instituto Forestal a estudiar la variabilidad de peumo e iniciar actividades tendientes a su conservación y mejoramiento genético, con el fin de aprovechar las interesantes propiedades de la especie y particularmente de sus frutos.

La instalación de ensayos genéticos, donde se representen en un sitio común a progenies de árboles selectos, permitirá generar importante información que contribuya a una selección más apropiada de los individuos a considerar para la producción de frutos de interés.

En este ámbito, en agosto de 2014 se estableció un primer ensayo de progenies de peumo, respecto del cual este documento tiene por objetivo presentar sus resultados de supervivencia y desarrollo inicial, a nivel de progenies y procedencia del material ensayado.

MATERIAL Y METODO

Ensayo

El ensayo evaluado fue establecido en agosto de 2014, en terrenos del Museo Mapuche de Cañete, en la provincia de Arauco, región del Biobío (UTM 18H 641305.36 – 581276.30; 80 msnm).

El ensayo consiste de 25 bloques, en cada uno de los cuales se representan 42 progenies de peumo a razón de una planta de cada progenie en cada bloque.

Las madres de cada progenie corresponden a árboles de peumo seleccionados en distintas localidades de la región del Biobío, en función de la abundancia en su producción de frutos (Cuadro N° 1).

En su plantación se utilizaron plantas de una temporada de viverización, producidas en *speedling trays* de 84 cavidades de 130 cm³ cada una, usando como sustrato corteza compostada de pino, enriquecida con un fertilizante comercial de liberación controlada, con relación NPK de 16:8:12 a razón de 3 kg/m³ de sustrato.

Durante la viverización las plantas fueron manejadas de acuerdo al programa operacional del vivero institucional de INFOR Biobío.

La plantación del ensayo se realizó a un espaciamiento de 2,5 x 2,5 m en casillas efectuadas sobre un terreno previamente rozado y tratado con herbicida de preplantación.

Inmediatamente después de la plantación se fertilizó las plantas con producto de lenta entrega y relación NPK 15:8:15, a razón de 50 g/planta.

Posteriormente se rodeó cada planta con un protector individual; en 12 bloques se usó malla rashell de 80% de sombreadamiento y una longitud de 80 cm, sostenida con tres estacas de madera alrededor de la planta; en los otros 13 bloques se usó secciones de 30 cm de una manga continua de malla plástica semirrígida, de 10 cm de diámetro y sostenida alrededor de la planta mediante una varilla de alambre (Figura N°1).

Cuadro N° 1
UBICACIÓN DE LOS ÁRBOLES MADRES DE LAS PROGENIES CONTEMPLADAS EN EL ENSAYO

Progenie	Procedencia	Coordenadas UTM			Altitud (msnm)	Ubicación
		Uso	Lat	Long		
1	Copiulemu	18 H	693697	5918613	227	Secano Interior
2	Copiulemu	18 H	693798	5917209	151	Secano Interior
3	Tucapel	19 H	237785	5867491	321	Precordillera
4	Tucapel	19 H	237771	5867495	319	Precordillera
5	Cerro Yanqui	19 H	249223	5862593	417	Precordillera
6	Antuco	19 H	265408	5865366	560	Precordillera
7	Yumbel	18 H	716935	5902156	103	Valle Central
8	Yumbel	18 H	716935	5902156	103	Valle Central
9	Yumbel	18 H	716935	5902156	103	Valle Central
10	Yumbel	18 H	716935	5902156	103	Valle Central
11	El Rosal	18 H	733500	5875168	138	Valle Central
12	El Rosal	18 H	733500	5875168	138	Valle Central
13	El Rosal	18 H	733500	5875168	138	Valle Central
14	Quilleco	19 H	236477	5848778	332	Precordillera
15	Polcura	19 H	259150	5870195	536	Precordillera
16	Santa Juana	18 H	679806	5903005	48	Secano Costero
17	Santa Juana	18 H	679632	5902873	41	Secano Costero
18	Nacimiento	18 H	680851	5874834	155	Secano Interior
19	Nacimiento	18 H	680851	5874834	155	Secano Interior
20	Nacimiento	18 H	680851	5874834	155	Secano Interior
21	Nacimiento	18 H	695194	5856264	134	Secano Interior
22	Carrizal - Los Patos	18 H	689901	5851327	236	Secano Interior
23	Carrizal - Los Patos	18 H	687257	5851689	286	Secano Interior
24	Carrizal - Los Patos	18 H	684406	5851780	326	Secano Interior
25	Culenco	18 H	750701	5900164	168	Valle Central
26	Culenco	18 H	750793	5900403	173	Valle Central
27	Culenco	18 H	750792	5900492	160	Valle Central
28	Curapaso	18 H	757990	5890695	214	Valle Central
29	La Obra	18 H	757316	5891624	193	Valle Central
30	La Obra	18 H	757316	5891624	203	Valle Central
31	La Obra	18 H	757316	5891624	208	Valle Central
32	Quillaimavida	18 H	698913	5911292	301	Secano Interior
33	Quillaimavida	18 H	699117	5910962	300	Secano Interior
34	Quillaimavida	18 H	699115	5910967	298	Secano Interior
35	Quillaimavida	18 H	699091	5911013	297	Secano Interior
36	Quillaimavida	18 H	699100	5911001	295	Secano Interior
37	Quillaimavida	18 H	699227	5910616	286	Secano Interior
38	Tomeco	18 H	703441	5906928	252	Secano Interior
39	Tomeco	18 H	703441	5906928	254	Secano Interior
40	Quillón	18 H	726090	5930727	67	Valle Central
41	Coronel	18 H	666483	5920256	10	Secano Costero
42	Coronel	18 H	666483	5920256	10	Secano Costero



Figura N° 1
DETALLE DE LOS DOS TIPOS DE MALLA UTILIZADAS COMO PROTECTORES INDIVIDUALES PARA LAS PLANTAS DEL ENSAYO DE PROGENIES DE PEUMO

Evaluación

En octubre de 2015, 15 meses después de su establecimiento, se midió la altura (H) y diámetro de cuello (D) de todas las plantas que componen el ensayo, y se contabilizó la supervivencia (S) de las mismas.

Para evaluar el efecto de los dos tipos de malla usados como protectores, se analizó el ensayo como un modelo completamente aleatorizado, considerando a los bloques de progenies como repeticiones de cada uno de los dos tratamientos evaluados (protector de malla rashell repetido 12 veces; protector de malla semirrígida repetido 13 veces). Se contabilizó la supervivencia en cada tratamiento y mediante análisis de varianza se determinó el efecto de estos tratamientos sobre las variables de crecimiento evaluadas (altura y diámetro de cuello).

A nivel de procedencias y progenies se realizó un análisis estadístico descriptivo para las variables altura, diámetro y supervivencia. Este se complementó con análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias (Prueba de Scott y Knott; $\alpha=0,05$), con la finalidad de detectar diferencias estadísticamente significativas a nivel de procedencia y progenies. En esta evaluación se usó un modelo de bloques completos al azar, donde las procedencias y progenies fueron los tratamientos evaluados en 25 bloques. De este modo, la variación se segregó entre los tratamientos (procedencias y progenies), separando la fracción de la variación debida al efecto de los protectores, la que quedó enmascarada en la fuente de variación correspondiente a los bloques.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Situación General del Ensayo y Efecto de Mallas de Protección

A los 15 meses de edad el ensayo de progenies de peumo presenta una supervivencia de 94,3%, y sus plantas exhiben una altura media de 10,7cm y un diámetro de cuello de 2,3 mm. Se observan diferencias estadísticamente significativas entre las plantas que se establecieron con diferente tipo de protector; las plantas establecidas con malla rashell presentan mayores valores de altura y supervivencia y son además más homogéneas que las plantas protegidas con malla semirrígida. Estas últimas, además de tener un desempeño inferior son más heterogéneas, exhibiendo una desviación estándar mayor, así como valores máximos y mínimos más extremos que en el primer caso. Respecto al diámetro de cuello, este es poco variable en el ensayo y no se

detectan diferencias en función del tipo de protector, sin embargo persiste la tendencia a que las plantas protegidas con malla semirrígida presenten mayor variabilidad, en términos de valores máximos mínimos, que aquellas protegidas con malla rashell (Cuadro N° 2)

Cuadro N° 2
VARIABLES DESCRIPTIVAS DEL ENSAYO Y DIFERENCIAS SEGÚN TIPO DE PROTECTOR

Variable	Tipo de protector		Total	
	Malla Raschell	Malla Semirrígida		
Supervivencia (%)	Prom	98,0	90,8	94,3
	D.E.	4,0	9,0	5,5
	Max	100,0	100,0	100,0
	Min	83,3	61,5	76,0
Altura (m)	Prom	12,2	9,3	10,7
	D.E.	4,1	5,4	5,0
	Max	30,1	50,0	50,0
	Min	3,0	2,0	2,0
Diámetro de Cuello (mm)	Prom	2,3	2,3	2,3
	D.E.	0,6	0,6	0,6
	Max	4,2	4,4	4,4
	Min	0,9	0,5	0,5

El uso de protectores individuales para las plantas puede mejorar la supervivencia y el crecimiento inicial de las mismas, brindándole condiciones microambientales más favorables y protegiéndolas del daño provocado por animales. En el caso de este ensayo, la malla rashell efectivamente genera un ambiente distinto alrededor de la planta (menor insolación, evaporación, temperatura, mayor humedad menor desecación por viento, etc.), lo que influye en el crecimiento y supervivencia de las mismas. En cambio, la malla semirrígida, con una trama muy rala no tiene mayor efecto que el de brindar protección mecánica contra conejos o liebres. En la práctica, la situación resulta similar a la de comparar plantas con protector (malla rashell) versus plantas sin protector (malla semirrígida).

Generalmente las plantas que cuentan con protectores exhiben mayor crecimiento inicial en altura que aquellas que carecen de esta protección. En efecto, diversos estudios indican que en los primeros estadios de desarrollo, los protectores producen plantas con tallos más largos y menos ramificados, pero de menor diámetro que el de plantas sin protector. La respuesta a la sombra y la reducción de la radiación, junto con el menor efecto del viento y de estrés mecánico, permite que las plantas con protector concentren más energía en el crecimiento en altura, y no así en el crecimiento diamétrico o radicular (Jacobson y Jackson, s/f).

Los resultados observados en el ensayo analizado coinciden con la tendencia mencionada en la bibliografía. La comparación de medias mediante la prueba de Tuckey (alfa= 0,05) no detecta diferencias significativas en diámetro, pero si para la altura y supervivencia de las plantas con protector (malla rashell) respecto a las protegidas con malla semirrígida. Estas últimas, que en la práctica no cuentan con un microambiente modificado por el protector, exhiben un 31% menos de altura que las protegidas con malla rashell (9,3 vs 12,2 cm) y casi un 8% menos de supervivencia. Los valores, aunque significativos, son menores a los reportados por Jacobson y Jackson (s/f) para otros ensayos, donde la diferencia de altura entre las plantas con y sin protectores, durante su desarrollo inicial, puede llegar casi al 100% (las protegidas casi duplican a las sin protector); o incluso exceder del 100%, como indica Randall (2012) para plantas de *Quercus spp*, las que después de un año de establecidas en terreno, registraron diferencias de altura de 121% a favor de plantas protegidas respecto de los testigos sin protector (31 vs 14 cm, respectivamente).

Crecimiento y Supervivencia por Procedencias y Progenies

Los resultados de los análisis de varianza para altura y diámetro de cuello indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre progenies, tanto entre como dentro de las procedencias (Cuadro N° 3).

A nivel de procedencias se pueden individualizar tres grupos de altura, donde destacan con los mejores valores aquellas correspondientes a Coronel, Quillaimavida, Tucapel, Culenco y Santa Juana, mientras que los peores desempeños son los de las procedencias Curapaso, Quilleco, Polcura y Antuco; las procedencias restantes conforman un grupo de altura intermedia entre los dos anteriores.

En términos de diámetro de cuello se observa una situación similar, definiéndose tres grupos que con algunas variaciones son similares a los de altura. La correlación entre ambas variables es alta a nivel de procedencias ($r_{H-DC}=0,82$), de modo que en general los grupos de mayor altura son también los de mejor diámetro de cuello.

Como procedencia individual destaca Coronel que alcanza los mayores valores en ambas variables; Santa Juana con altos valores de altura y desempeño intermedio en diámetro es la única procedencia que registra 100% de supervivencia; por su parte Polcura y Antuco exhiben simultáneamente los valores más bajos en supervivencia, altura y diámetro de cuello.

La correlación entre supervivencia y variables de crecimiento es intermedia ($r_{S-H}=0,64$ y $r_{S-DC}=0,52$), no observándose tendencias evidentes que relacionen a estas variables. Tampoco se observa una relación clara entre el comportamiento de las procedencias y su ubicación fisiográfica, aunque se detecta cierta tendencia a que las procedencias de precordillera exhiban un comportamiento más deficitario que las restantes, tanto en crecimiento como en supervivencia; complementariamente, las procedencias de secano, particularmente de secano costero, tienden a presentar mejor desempeño que las procedencias de los orígenes restantes.

A nivel de progenies, en general se observa un comportamiento coherente con el de las procedencias a que pertenecen, es decir que las procedencias de buen desempeño tienen progenies de buen desempeño y viceversa.

No obstante, también se detecta variación entre las progenies dentro de una misma procedencia. Este es el caso, por ejemplo, del material de Culenco, donde dos de sus progenies (progenies 26 y 27) se encuentran entre las de mejor comportamiento en altura, diámetro y supervivencia, mientras que la tercera (progenie 25) exhibe uno de los peores resultados en las tres variables.

En términos de medias por progenies, se distinguen dos grupos estadísticamente homogéneos en altura y cuatro en diámetro, observándose al igual que en el nivel de procedencias, una correlación relativamente alta entre estas dos variables ($r_{H-DC}= 0,79$). Análogamente también, las correlaciones entre supervivencia y variables de crecimiento son menores, e incluso más bajas que las determinadas a nivel de procedencias ($r_{S-H}=0,52$ y $r_{S-DC}=0,46$).

Las mejores progenies (8, 42, 26 y 27) pertenecen a Yumbel, Coronel y Culenco, mientras que las de menor crecimiento y supervivencia (25, 15 y 6) corresponden a Culenco, Polcura y Antuco. Los valores específicos de cada variable a nivel de progenies y procedencias se detallan en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
MEDIAS DE SUPERVIVENCIA, ALTURA Y DIÁMETRO DE CUELLO POR PROCEDENCIAS Y PROGENIES
DE ENSAYO DE PEUMO EVALUADO A 15 MESES DE EDAD

Procedencia	n	S	H		DC		Prog	n	S	H		DC	
Coronel	45	90,0	12,2	a	2,5	a	42	23	92,0	13,1	a	2,5	a
							41	22	88,0	11,4	a	2,5	b
Quillaimavida	146	97,3	11,9	a	2,4	a	32	25	100,0	12,8	a	2,9	a
							34	25	100,0	12,6	a	2,3	b
							36	25	100,0	12,1	a	2,7	a
							35	24	96,0	11,7	a	2,4	b
							37	22	88,0	11,4	a	1,9	d
							33	25	100,0	11,1	a	2,1	c
Tucapel	47	94,0	11,8	a	2,4	a	4	24	96,0	12,2	a	2,4	b
							3	23	92,0	11,5	a	2,4	b
Culenco	70	93,3	11,5	a	2,4	a	26	25	100,0	12,9	a	2,7	a
							27	25	100,0	12,9	a	2,7	a
							25	20	80,0	8,2	b	1,8	d
Santa Juana	50	100,0	11,5	a	2,1	b	17	25	100,0	11,7	a	2,3	b
							16	25	100,0	11,3	a	1,9	d
Copiulemu	49	98,0	10,8	b	2,3	a	1	24	96,0	10,8	a	2,4	b
							2	25	100,0	10,8	a	2,3	b
Carrizal Los Patos	72	96,0	10,7	b	2,2	a	24	24	96,0	12,2	a	2,5	a
							22	25	100,0	11,1	a	2,2	b
							23	23	92,0	8,7	b	1,9	d
Nacimiento	94	94,0	10,7	b	2,1	b	18	24	96,0	12,8	a	2,4	b
							21	22	88,0	12,2	a	2,3	b
							19	24	96,0	9,1	b	2,0	d
							20	24	96,0	8,7	b	1,8	d
Yumbel	91	91,0	10,5	b	2,3	a	8	23	92,0	13,3	a	2,7	a
							9	22	88,0	9,7	b	2,4	b
							7	24	96,0	9,7	b	2,1	c
							10	22	88,0	9,3	b	2,1	c
Tomeco	47	94,0	10,4	b	2,2	a	38	24	96,0	11,9	a	2,6	a
							39	23	92,0	9,0	b	1,9	d
El Rosal	70	93,3	10,3	b	2,1	b	11	23	92,0	11,1	a	2,3	b
							12	23	92,0	10,3	b	2,1	c
							13	24	96,0	9,6	b	2,1	c
La Obra	74	98,7	10,3	b	2,3	a	31	25	100,0	11,6	a	2,3	b
							30	25	100,0	10,8	a	2,8	a
							29	24	96,0	8,3	b	1,9	d
Cerro Yanqui	24	96,0	10,0	b	2,2	a	5	24	96,0	10,0	b	2,2	c
Quillón	24	96,0	9,6	b	2,3	a	40	24	96,0	9,6	b	2,3	b
Curapaso	23	92,0	8,6	c	2,0	b	28	23	92,0	8,6	b	2,0	d
Quilleco	23	92,0	8,3	c	2,1	b	14	23	92,0	8,3	b	2,1	c
Polcura	22	88,0	8,0	c	1,7	c	15	22	88,0	8,0	b	1,7	d
Antuco	19	76,0	7,0	c	1,8	c	6	19	76,0	7,0	b	1,8	d
Total	990	94,3	10,7		2,3			990	94,3	10,7		2,3	

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias (Scott y Knott, $\alpha=0,05$)

Las procedencias y progenies evaluadas en el ensayo presentan una supervivencia satisfactoria, con un valor medio de 94,3%, valores extremos familiares de 100 y 76%, y con solo 8 de 42 progenies bajo el 90%. Al respecto, Quiroz *et al.* (2012) en plantaciones de restauración

efectuadas con esta especie, también señalan altas tasas de supervivencia incluso sin uso de protectores. Por el contrario, plantaciones de un año de edad establecidas en Los Vilos y Rapel logran una supervivencia menor; 72% en la primera localidad y 10 a 37% en la segunda (Barros y Schickhardt, 1978; 1979).

Contrariamente el crecimiento resulta deficitario. Tras 15 meses en terreno las plantas presentan altura media de 10,7cm y un diámetro de cuello de 2,3 mm, valores que no representan un incremento significativo respecto del que tenían las plantas al final de su viverización, antes de ser plantadas en el ensayo (INFOR, 2014). Esta diferencia se explica en gran medida por el hecho de que muchas plantas sufrieron la desecación de la parte aérea durante su primer periodo estival en terreno, de modo que al momento de la medición solo exhibían un pequeño rebrote basal de escasa altura y diámetro. En efecto, plantaciones efectuadas en condiciones más adversas y con considerable menor supervivencia, como las mencionadas por Barros y Schickhardt (1978; 1979), exhibían después de un año en terreno valores medios de altura que fluctuaban entre 12,6 y 16,1 cm, los que resultan mayores a los observados en este ensayo.

CONCLUSIONES

Los protectores individuales de malla raschell exhibieron un positivo efecto sobre la supervivencia y crecimiento en altura de las plantas de peumo.

Existen diferencias de crecimiento y supervivencia entre las progenies ensayadas, estas diferencias ocurren entre y dentro de las procedencias, observándose cierta tendencia hacia un mejor desempeño de las procedencias de secano costero y un rendimiento más deficitario de las de precordillera.

La supervivencia es alta y satisfactoria, no así el crecimiento inicial, que es escaso como consecuencia de desecación de plantas.

Para efectos de selección de material genético la evaluación resulta demasiado incipiente, se debe mantener el ensayo y repetir la evaluación en estadios de desarrollo más avanzados.

REFERENCIAS

Arancio, G.; Muñoz, M. y Squeo, F., 2001. Descripción de Algunas Especies con Problemas de Conservación en la IV Región de Coquimbo, Chile. 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, La Serena, Chile 6: 63 - 103

Avello, M.; López, C.; Gatica, C.; Bustos, E.; Brieva, A.; Pastene, E. y Bittner, M., 2012. Efectos antimicrobianos de extractos de plantas chilenas de las familias *Lauraceae* y *Atherospermataceae*. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 2012; 17(1)73-83.

Barreau, A. y Salas, V., 2009. Plantas que curan, compartiendo vivencias y saberes. Medicina campesina de la Región del Biobío. TAC- Forestal Mininco. 73 p.

Barros, S. y Schickhardt, R., 1978. Resultados de preñimiento y desarrollo de 22 especies, en zonas áridas sometidas a diferentes métodos de plantación. Los Vilos IV región. Instituto Forestal. Informe Técnico N° 70. Santiago. 24 p.

Barros, S. y Schickhardt, R., 1979. Ensayos de métodos de plantación e introducción de especies en zonas áridas y semiáridas. Rapel. Instituto Forestal. Informe Técnico N° 62. Santiago. 24 p.

Chung, P., 2012. Usos, Productos y Procesos. En: Benedetti, S. (Ed.). Monografía de Peumo, *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser. INFOR – MINAGRI. Programa de investigación de productos forestales no madereros. Pp: 57-58.

Chung, P., 2015. Iniciativas de conservación en especies nativas: El caso del peumo. En: Gutiérrez, B.; Ipinza, R.; y Barros, S. (Eds). Conservación de recursos genéticos forestales: Principios y prácticas. Instituto Forestal. 320 p. Capítulo 14, Pp. 249-268.

Corporación Nacional Forestal (CONAF) 1989. Libro Rojo de la Flora Terrestres de Chile. BENOIT, I (Ed.). Ministerio de Agricultura, Santiago, 157 pp.

De Moraes, P.; Monteiro, R. y Vencovsky, R., 2002. Genetic differentiation and diversity of natural populations of *Cryptocarya* spp. (*Lauraceae*) from the Brazilian Atlantic rain forest. *Lundiana* 3(2): 99-109.

Hoffmann, A., 1983. El árbol urbano de Chile. Santiago, Chile. Ediciones Fundación Claudio Gay. 225 p.

Ibaca, R., 2001. Monografía de árboles y arbustos chilenos con propiedades medicinales aromáticas. Memorias para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 246 p.

INFOR, 2014. Producción de plantas e instalación de ensayo de progenies de peumo (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser). Informe Interno Grupo Conservación y Mejoramiento Genético. INFOR Sede Biobío. Concepción. 24 p.

Jacobson, M. and Jackson, D., s/f. Tree Shelters: A Multipurpose Forest Management Tool. Penn. State College of Agricultural Sciences. Forest Finance Series Publications N° 7. En: <http://extension.psu.edu/natural-resources/forests/finance/forest-tax-info/publications/tree-shelters>.

Karimi, H.; Farmani, A. y Nourizadeh, H., 2011. A performance comparison of modern statistical technique for molecular descriptor selection and retention prediction of essential oil from leaves. *American Journal of Scientific Research*. 38: 36-40.

Martin, F., 1989. Extraíbles químicos de especies nativas en zonas áridas y semiáridas. Revisión Bibliográfica. Documento de Trabajo N° 24. Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017. 43 p.

Montes, M., 1987. Aspectos de la medicación Popular en la Región del Biobío, Chile. *Acta Farm. Bonaerense*. 6(2): 115-24.

Montes, M. y Wilkomirsky, T., 1985. Medicina tradicional chilena. Concepción, Chile. Universidad de Concepción. 206 p.

Niemeyer, H.; Bustamante, R.; Simonetti, N.; Teillier, S.; Fuentes, E. y Mella, J., 2002. **Historia Natural de la Reserva Nacional Río Clarillo: un espacio para aprender ecología.** Tercer Curso Regional de Actualización en Biología de la Conservación. Santiago, Chile. 315 p.

Quiroz, I.; Pincheira, M. y Hernández, A., 2012. Restauración Ecológica en la Zona Central de Chile: Técnicas silvícolas para la supervivencia y crecimiento de especies nativas bajo condiciones de estrés hídrico. Informe interno Centro Tecnológico de la Planta Forestal. INFOR.

Randall, J., 2012. Tree shelter for hardwood plantings. F-364. Iowa State University, Forestry Extension. En: https://www.extension.iastate.edu/forestry/publications/PDF_files/F-364.pdf

Rodríguez, R.; Mathei, O. y Quezada M., 1983. Flora arbórea de Chile. Concepción, Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. 408 p.

Schmeda-Hirschmann, G.; Astudillo, L.; Bastida, J.; Codina, C.; De Arias, A; Ferreira, M; Inchausti, A. and Yaluff, G., 2001. Cryptofolione derivatives from *Cryptocarya alba* fruits. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 53: 563–567.

Sapaj, A., 1998. Potencialidad del bosque esclerófilo del Valle de Colliguay (V Región) para la obtención de productos secundarios. Memorias para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 108 p.

Toribio, A.; Bonfils, A.; Delannay, E.; Prost, E.; Harakat, D.; Henon, E.; Richard, B.; Litaudon, M.; Nuzillard, J. y Renault, J., 2006. Novel seco-Dibenzopyrrocoline Alkaloid from *Cryptocarya oubatchensis*. *Organic Letters*. 8(17): 3825-3828

Vogel, H.; Razmilic, I.; San Martín, J.; Doll, U. y González, B., 2008. Plantas Medicinales Chilenas. Experiencia de Domesticación y Cultivo de Boldo, Matico, Bailahuén, Canelo, Peumo y Maqui. Segunda Edición. Editorial de la Universidad de Talca. 194 p.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SOLUCIONES CON POTENCIALIDAD FUNGICIDA MEDIANTE ENSAYOS DE BIODEGRADACIÓN EN LABORATORIO Y FT-IR

Murace, Mónica¹⁵; Saparrat, Mario^{15,16}; Maly, Laura¹⁵ y Keil, Gabriel¹⁵

RESUMEN

En la República Argentina, el Arseniato de cobre cromatado (CCA-C) es una de las sustancias más utilizadas en el campo de la preservación industrial de las maderas. La toxicidad y fijación de dicho preservante aseguran para el material tratado una vida útil superior a los 30 años en condiciones de uso extremas.

El reemplazo del CCA es tendencia mundial debido a la presencia de arsénico (Ar) y cromo hexavalente (Cr⁺⁶) en su composición. En este contexto, existe un creciente interés en el desarrollo de compuestos no tóxicos y con igual efectividad que el CCA.

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de soluciones hidrosolubles de bajo compromiso ambiental en madera de *Pinus ponderosa* mediante su resistencia a la degradación fúngica y espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FT-IR). Se trabajó con albura de *P. ponderosa* Dougl. ex Laws. proveniente de ejemplares de una forestación de 22 años de edad ubicada en Neuquén (Argentina). Parte del material fue impregnado en autoclave con paraformaldehído (3 concentraciones); metaborato de sodio (2 concentraciones); fosfato-borato; preservante biodegradable en desarrollo y CCA-C (preservante de referencia).

En el material tratado fueron determinadas la penetración, absorción, retención nominal y real (IRAM 9600). Los ensayos de biodegradación se realizaron según IRAM 9518 con *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst., hongo causante de pudrición castaña. Fueron utilizadas 360 probetas (40 por tratamiento/solución y concentración incluyendo al testigo). Del total, 180 fueron expuestas a situaciones de intemperismo simuladas en laboratorio a fin de determinar la permanencia de las soluciones de ensayo; el resto permitió determinar toxicidad. Toxicidad y permanencia fueron estimadas indirectamente, mediante la media de pérdida de peso (Pp %) obtenida para cada tratamiento.

Estos datos permitieron determinar la clase de resistencia a la degradación fúngica y consecuentemente el comportamiento de las soluciones. Asimismo se procedió al análisis químico de las probetas de la totalidad de los tratamientos pertenecientes a ambos tipos de ensayo mediante FT-IR como también de aquellas tratadas sin exposición a la cepa fúngica (testigo de cada tratamiento).

Los espectros de absorción FT-IR fueron registrados entre los 4000 y 400 cm⁻¹. Se seleccionaron bandas de referencia dentro de la región 800-1800 cm⁻¹ que reflejan grupos funcionales característicos de los polímeros de la madera, y se estimaron sus intensidades relativas. El preservante biodegradable poseería el mayor potencial como sustituto del CCA. La toxicidad de dicha solución evidenciada mediante los ensayos de biodegradación (la madera resultó altamente resistente al igual que la tratada con CCA) y FT-IR como también mediante los parámetros de preservación obtenidos en el material, avalarían su aptitud. Por su parte, si bien manifestó tendencia al lixiviado, el material mantuvo su clase de resistencia/durabilidad.

Palabras clave: Preservantes alternativos, Toxicidad, Permanencia, FT-IR.

¹⁵ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata, Buenos Aires, Argentina mmurace@gmail.com

¹⁶ INFIVE, UNLP-CCT La Plata CONICET

SUMMARY

In the Argentine Republic, the chromated copper arsenate (CCA-C) is one of the most commonly used substances in the industrial wood preservation. The toxicity and fixing of this preservative ensure for the treated material a useful life more than 30 years in extreme conditions of use.

The replacement of the CCA is a world trend due to the presence of arsenic (Ar) and chrome hexavalent (Cr⁺⁶) in its composition. In this context, there is a growing interest in the development of non toxic compounds and with equal effectiveness to the CCA.

The objective of the work was to evaluate the behavior of water-soluble solutions of low commitment environmental in wood of *Pinus ponderosa* through its resistance to fungal degradation and spectroscopy infrared transformed of Fourier (FT-IR). It worked with *P. ponderosa* Dougl. ex Laws. sapwood from 22 years old forestry located in Neuquén (Argentine). Part of the material was impregnated in autoclave with paraformaldehyde (3 concentration); metaborate of sodium (2 concentration); fosfato-borato; biodegradable preservative in development and CCA-C (preservative of reference).

In the treated material, penetration, absorption, nominal and real retention (IRAM 9600) were determined. The biodegradation tests were carried out according to IRAM 9518 with *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst., a brown rot fungus. 360 specimens (40 by treatment / solution and concentration including control) were used. Of total, 180 were exposed to situations of weathering simulated in laboratory to determine the permanence of the solutions; the rest allowed to determine the toxicity. Toxicity and permanence were indirectly estimated, through the average weight loss obtained for each treatment.

These data allowed to determine the class of resistance to fungal degradation and consequently the behavior of the solutions. Also is proceeded to the chemical analysis of the specimens of all treatments belonging to both types of essay by FT-IR as well as those treated without exposition to the fungal strain (witness of each treatment).

The absorption spectra of FT-IR were registered between the 4000 and 400 cm⁻¹. Bands of reference within the region 800-1800 cm⁻¹ that reflect functional groups characteristic of the wood polymers were selected, and their intensities relating were estimated. Biodegradable preservative would possess the greatest potential as substitute of the CCA. The toxicity of this solution, evidenced by the biodegradation tests (the wood was highly resistant as well as the CCA-treated) and FT-IR as also the preservation parameters obtained in material, would endorse their aptitude. Moreover, although tendency to leach, the material maintained its strength/durability class.

Key Words: Alternative preservatives, Toxicity, Permanence, FT-IR.

INTRODUCCIÓN

Las prácticas de preservación permiten incrementar la vida útil de la madera en servicio como consecuencia de la resistencia al deterioro que le otorgan al material (Wottitz y Moreno, 2011). Los hongos xilófagos son los responsables del deterioro más frecuente y agresivo al que está expuesta la madera, producto de la ubicuidad de dichos organismos y su capacidad de colonización y degradación en periodos de tiempo relativamente cortos (Highley *et al.*, 1994).

En la actualidad, el mercado maderero argentino se abastece principalmente de maderas exóticas. Las características químico-anatómicas de estas especies, su rápido crecimiento y cortos turnos de rotación determinan baja resistencia al deterioro fúngico (durabilidad), propiedad que condiciona su uso en situaciones propicias para que dicho proceso ocurra (Zabel y Morrell, 1992). En estas circunstancias, los procesos de preservación en particular, como así también el diseño y sistema constructivo permiten ampliar las situaciones de uso y, consecuentemente, las aplicaciones de las maderas actualmente disponibles (Encina, 2004). Las prácticas de preservación resultan estrategias eficaces de incremento de la durabilidad -durabilidad adquirida- en aquellas maderas poco resistentes (Díaz *et al.*, 2003; Wottitz y Moreno, 2011).

En la República Argentina, el arseniato de cobre cromatado (CCA-C) es una de las sustancias impregnantes más utilizadas en el campo de la preservación industrial de las maderas (proceso bajo presión en autoclave) si bien otros principios activos y sus formulados se encuentran inscritos en el SENASA: Registro Nacional de Terapéutica Vegetal del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (IRAM 9600, 1998; Gherscovic, 2012). La elevada toxicidad del CCA hacia la mayoría de los agentes biológicos de deterioro y su fijación aseguran para la madera tratada una vida útil superior a los 30 años en una amplia variedad de ambientes (Coudert *et al.*, 2014).

En el ámbito internacional, en los últimos 15 años hay una activa discusión en torno a la aplicación de CCA. Esto debido a los efectos nocivos que puede producir como también por los residuos originados por reemplazo del material preservado y de aquellos surgidos durante la preservación. En el país no existe una legislación que restrinja el uso de este principio activo, pese a ello la norma IRAM 9600 (1998) enumera restricciones para su aplicación. En este contexto el reemplazo del CCA en maderas orientadas a la construcción es una tendencia mundial (Rodríguez Barreal, 1998; Schmidt, 2006; Walker, 2006; Escobar, 2012). Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) determinó que su utilización no plantea un riesgo excesivo para el ser humano o el medio ambiente siempre que se tomen las medidas necesarias de mitigación de los mismos (Wottitz y Moreno, 2011).

La principal objeción respecto del uso de dicho preservante está relacionada con la presencia de arsénico (Ar) y cromo hexavalente (Cr⁶⁺) en su composición, ambos considerados como potenciales cancerígenos humanos (Walker, 2006). A causa de ello, en el año 2002 fue anunciada la decisión voluntaria por parte de la industria de la preservación de la madera de minimizar paulatinamente su aplicación; en los últimos años esta ha sido restringida en juegos infantiles, *decks*, senderos, cercos y demás usos residenciales.

Países como EEUU, Chile, Alemania y Suecia han optado por reemplazar el uso de este compuesto por productos alternativos como lo son el CCB (óxido de cromo, cobre y boro), el ACQ (compuesto cuaternario de cobre amoniacal) y el CBA (cobre azole); la EPA (2016) menciona además otros productos registrados para uso residencial como ser boratos, betaína polimérica, naftenato de cobre, entre otros, algunos de ellos aún no difundidos en Argentina (Borralló Jiménez, 2007; Carmona y Barahona, 2010; Girardo, 2010; Moreno *et al.*, 2010; Bozo *et al.*, 2010; Wottitz y Moreno, 2011; Coudert *et al.*, 2013). En este contexto existe un creciente interés en el desarrollo de compuestos no tóxicos, respetuosos con el medio ambiente y con igual efectividad que el CCA (Murgia, 2012).

OBJETIVO

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de soluciones hidrosolubles de bajo compromiso ambiental en madera de *Pinus ponderosa* mediante su resistencia a la degradación fúngica y espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FT-IR).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material de Ensayo

Se trabajó con albura de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. (pino ponderosa) proveniente de ejemplares del primer raleo de una forestación de 22 años de edad ubicada en el sudoeste de la provincia de Neuquén (zona del lago Melliquina, 40°27'23"S-71°13'52"O, Argentina). El material fue transformado en tablas de 20 mm x 100 mm x 400 mm, posteriormente estivadas para su secado natural hasta constatar contenido de humedad en equilibrio higroscópico (HEH) mediante xilohigrómetro digital (Hydromette HT 85, de la marca GANN).

Logrado esto, parte de la madera fue impregnada en autoclave con las soluciones hidrosolubles¹⁷: Paraformaldehído¹ (P) en 3 concentraciones (P25%, P50% y P100%, respectivamente); metaborato de sodio² (BO) en dos concentraciones (BO10% y BO15%, de composición, en %/p.s.: fosfato ácido de amonio, 10; sulfato de amonio, 60; ácido bórico, 20; borato de sodio, 10); fosfato-borato³ (FB 8%, de composición, en g: fosfato monoamónico, 6.8; decaborato de sodio, 1.2; agua c.s.p., 100); arseniato de cobre cromatado (CCA-C)⁴ (2%, de composición, en %: óxido de cromo, 45.63; óxido de cobre, 17.47; pentóxido de arsénico, 36.90) y preservante biodegradable en desarrollo⁵ (BIO 5%, aún no patentado). En este estudio el CCA constituyó el preservante de referencia al momento de evaluar el comportamiento de aquellos considerados como potenciales sustitutos. Tratado el material se procedió a la determinación de los valores de penetración, absorción, retención nominal y de retención real (IRAM 9600, 1998).

Cumplida esta etapa, el material (tablas impregnadas y testigo sin preservar) fue transformado en listones de 20 mm x 20 mm x 400 mm a partir de los que se obtuvieron probetas cúbicas de 20 mm de lado, libres de defectos, a ser utilizadas en los ensayos de degradación acelerada según la normativa nacional vigente (IRAM 9518, 1962).

Se trabajó con 360 probetas (40 por tratamiento/solución y concentración). Del total, 180 fueron expuestas a situaciones de intemperismo simuladas en laboratorio a fin de determinar la permanencia de las soluciones de ensayo; el resto, permitió identificar la toxicidad de dichas soluciones.

Ensayos de Biodegradación en Laboratorio

- Material Fúngico

Los ensayos de biodegradación fueron realizados con la cepa *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst. cepa 735 (LPSC) - Cepario del Instituto Spegazzini, La Plata - causante de pudrición castaña, especie frecuentemente asociada al deterioro de la madera en servicio, particularmente de coníferas (Wright y Deschamps, 1976/77; Schmidt, 2006). Obtenido el cultivo, fue repicado a cajas de Petri con medio Agar Extracto de Malta (MEA 2%) de constitución: peptona, 1 g; extracto de malta, 20 g; glucosa, 20 g; agar, 20 g; agua destilada, 1000 cm³. Posteriormente las cajas fueron colocadas en estufa a 25°C por 10 días a los efectos de obtener el inóculo necesario para el establecimiento de los ensayos.

¹⁷ * ¹ Formulado en el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CIDEPI); ² Formulado en CIDEPI; ³ Formulado por Empresa Química Bosques; ⁴ Formulado en INTI Madera & Muebles; ⁵ Formulado por Dr. Murgía UNL – CONICET.

- Instalación de los Ensayos – Procedimiento

Los ensayos fueron realizados aplicando la técnica del *soil block* (IRAM 9518). En frascos de vidrio de 500 cm³ de capacidad fueron colocados 43 cm³ de agua destilada y 200 g de una mezcla de tierra (40 g) y arena (160 g) previamente secada en estufa a 103 °C ± 2 durante 72 h y posteriormente tamizada. Llenados los frascos, sobre el sustrato fueron apoyadas dos tablillas (*feeder strips*) de madera blanda (*Salix spp*) de 20 mm de lado y 4 mm de espesor. Posteriormente, cada frasco fue tapado con algodón y esterilizado en autoclave durante 30 minutos a 1.5 atm de presión. Cumplida esta etapa se procedió a la inoculación, la cual fue realizada mediante trozos de micelio fúngico de 10 mm de diámetro colocados sobre cada *feeder strips*. Una vez que el micelio cubrió las tablillas (25 días aproximadamente) sobre cada una de ellas fue colocada una probeta de ensayo (dos por frasco) previa determinación de su peso inicial en equilibrio higroscópico (Pi) y esterilización en autoclave a ½ atm de presión durante 20 minutos. De este modo quedaron instalados los ensayos que permitieron determinar la toxicidad de las soluciones preservantes como también el ensayo testigo.

En cuanto a las probetas pertenecientes a los ensayos de permanencia, antes de su incorporación en los frascos de pudrición (preparados del modo indicado) fueron pesadas (Pi) y luego expuestas a lavado por inmersión en agua destilada (2 h), a estacionamiento en laboratorio a temperatura ambiente (25 ± 2 °C durante 16 h) y posterior calentamiento en estufa (50 ± 2 °C por 6 h), secuencia repetida 10 veces. Cumplida dicha simulación de intemperismo (IRAM 9518) fueron esterilizadas del modo descrito e incorporadas en los frascos de pudrición sobre cada *feeder streps* colonizado por la cepa xilófaga.

La totalidad del material (40 probetas por tratamiento, 20 por tipo de ensayo) estuvo expuesto a deterioro durante 90 días a 27 ± 2°C y 70% de HR. Transcurrido este tiempo, las probetas fueron extraídas de los frascos y acondicionadas en laboratorio (30 días aproximadamente) bajo condiciones controladas de temperatura y humedad (25 ± 2°C y 70% de HR) hasta comprobar peso en equilibrio higroscópico (Pf). Con los valores de Pi y Pf obtenidos fue calculada la media de pérdida de peso (Pp %) para cada condición de la madera (tratamiento) y tipo de determinación (toxicidad, permanencia) empleando la fórmula:

$$Pp (\%) = \frac{Pi (g) - Pf (g)}{Pi (g)} \times 100$$

Calculada la Pp (%), los datos obtenidos permitieron determinar la resistencia de la madera testigo e impregnada a la degradación fúngica (durabilidad natural y adquirida, respectivamente) según lo indica la escala de Findlay (Norma ASTM D-2017 81/1986): Altamente resistente (AR): 0%-10% Pp; Resistente (R): 11%-24% Pp; Moderadamente resistente (MR): 25%-44% Pp; No resistente (NR): >45% Pp.

La durabilidad o resistencia a la degradación (definida en base al porcentaje medio de Pp obtenido) adquirida por el material no expuesto a intemperismo constituyó un indicador indirecto de la toxicidad de los preservantes sobre *G. sepiarium*. Por su parte, la durabilidad adquirida por la madera determinada mediante ensayos de permanencia permitió evaluar la capacidad de fijación de los preservantes.

El comportamiento de los impregnantes al lixiviado – permanencia - fue evaluado por comparación de porcentajes medios de pérdidas de peso (Pp %): Pp (%) del material sin exposición a intemperismo (toxicidad) vs Pp (%) del material expuesto a intemperismo. El conocimiento de dichos atributos es de importancia teniendo en cuenta la alta toxicidad y fijación del CCA. La durabilidad de la madera actuaría como indicador de la potencialidad que poseen dichas soluciones en transformarse en posibles alternativas al uso del CCA en cuanto a la protección frente al ataque por hongos xilófagos.

- Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier (FT-IR)

El comportamiento de las soluciones (toxicidad y permanencia) fue evaluado también mediante la degradación de los polímeros de la madera por *G. sepiarium*, por lo cual se procedió al análisis químico de las probetas de la totalidad de los tratamientos (madera preservada y sin tratar) pertenecientes a ambos tipos de ensayo. Material tratado y testigo (T) sin exposición a la degradación fúngica también fue analizado y considerado como testigo (t).

Material particulado correspondiente a la superficie de cada una de las muestras fue obtenido mediante lima metálica (< 0,4 mm), luego triturado con nitrógeno líquido en un mortero de porcelana y homogeneizado el tamaño de sus partículas utilizando un lienzo de voile.

Con el fin de eliminar los extraíbles hidro y liposolubles de cada muestra obtenida, estas fueron expuestas a una serie de lavados secuenciales utilizando agua caliente, Triton X-100, etanol, metanol y acetona siguiendo el procedimiento reportado por Cvikrova *et al.* (2006) y Espiñeira *et al.* (2011). El material resultante fue secado a 80 °C y mantenido en una atmósfera libre de humedad hasta el momento de proceder al armado de las pastillas para FT-IR.

Para obtener los espectros FT-IR fueron elaboradas pastillas de 13 mm de diámetro con 2 mg de cada muestra seca y 20 mg de bromuro de potasio grado infrarrojo así como también pastillas blanco con solo 22 mg de bromuro de potasio. Los espectros de absorción FT-IR fueron registrados entre 4000 y 400 cm^{-1} empleando un espectrómetro modelo *Spectrum* (Perkin-Elmer-Instruments).

El análisis espectral se realizó a una velocidad de 1 cm s^{-1} con 4 cm^{-1} de resolución bajo atmósfera de aire seco (cámara con silicagel), siendo obtenido un espectro promedio resultado de 64 escaneos.

Las mediciones se realizaron dos veces por muestra analizada. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software EZ-OMNIC y se llevó a cabo la corrección de cada espectro sustrayendo automáticamente aquel correspondiente a la pastilla blanco obtenido inmediatamente antes del registro de cada muestra.

Se seleccionaron bandas de referencia dentro de la región 800-1800 cm^{-1} (Cuadro N°1), que reflejan grupos funcionales característicos de los polímeros de la madera, y se estimaron sus intensidades relativas siguiendo a Luna *et al.* (2015) y a Pandey y Pitman (2003). De acuerdo con estos últimos autores, diferencias \leq a 0,10 entre valores de absorbancia relativa no se consideraron como tal.

Cuadro N°1
ASIGNACION DE BANDAS DE ABSORCION EN LOS ESPECTROS FT-IR DE LAS MUESTRAS DE MADERA ANALIZADAS

Número de Onda (cm^{-1})	Grupos Funcionales	Referencia
896	Vibraciones de los grupos C1-H en celulosa.	(Hinterstoisser <i>et al.</i> , 2001)
1164	Vibraciones de los grupos glicosídicos C-O-C.	(Saparrat <i>et al.</i> , 2010)
1508	Vibraciones de los esqueletos aromáticos.	(Saparrat <i>et al.</i> , 2010)
1734	Grupos carbonilos no conjugados de pectinas y hemicelulosas.	(Luna <i>et al.</i> , 2015)

- Análisis Estadístico

Determinados los porcentajes medios de pérdida de peso (Pp%) -variable respuesta para pudrición castaña en los ensayos de toxicidad y permanencia- fue realizado un análisis descriptivo a fin de obtener estadísticos básicos para cada tratamiento.

Con el propósito de comparar el efecto de las distintas soluciones impregnantes sobre la cepa xilófaga de ensayo fueron realizados ANOVA.

Al comprobar que los datos no cumplieron con los supuestos del análisis de la varianza, fue realizado un análisis de la varianza no paramétrico, prueba de Kruskal- Wallis (KW); posteriormente se aplicó la prueba de Mann Whitney para comparar los valores de Pp (%) entre tipo de ensayo (toxicidad vs permanencia).

Para el análisis descriptivo e inferencial fue utilizado el software Infostat.

RESULTADOS – DISCUSIÓN

Valores de los Parámetros de Impregnación Obtenidos Mediante Vacío – Presión

Los valores de penetración, absorción, retención nominal y real son detallados en el Cuadro N°2.

Cuadro N°2
PARÁMETROS DE IMPREGNACIÓN POR PRODUCTO Y CONCENTRACIÓN

Tratamientos*	Absorción (kg.m ⁻³)	Retención nominal (kg.m ⁻³)	Retención real (kg.m ⁻³)	Penetración (%)
CCA-C	636,871	8,789	7,224	
P100	636,101	636,101	522,875	
P50	504,539	252,269	207,366	Total
P25	608,030	234,702	192,925	100
BO15	499,079	74,862	61,536	
BO10	448,006	44,801	36,826	
FB	551,356	44,108	36,257	
BIO	542,022	27,101	22,277	

* CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%; P: Paraformaldehído al 100%, 50% y 25%; BO: Metaborato de sodio al 15% y 10%; FB: Fosfato-borato al 8%; BIO: Preservante biodegradable al 5%.

Según se indica en el Cuadro N° 2, la penetración de las distintas soluciones fue total (madera impregnable) en correspondencia con el atributo albura penetrable que poseen distintas especies de pinos. Asimismo se correspondió con lo sugerido para los productos de madera impregnados a ser usados en distintas categorías de riesgo.

En cuanto al CCA, el valor medio de retención nominal también fue el esperado (IRAM 9600); para el resto de los productos ensayados no se registran antecedentes.

Lo expuesto evidencia la efectividad del tratamiento en cuanto al método elegido y al tiempo de vacío y de presión considerado.

Durabilidad Adquirida por la Albura de Pino Ponderosa Estimada Mediante Ensayos de Toxicidad

En el Cuadro N° 3 son presentados los valores hallados a partir del análisis descriptivo y mediante la prueba KW para la variable pérdida de peso (Pp) por tratamiento producto de la exposición de la albura de pino ponderosa a la cepa *G. sepiarium*.

Cuadro N°3
VALORES MEDIOS Y MEDIANAS DE PÉRDIDA DE PESO Y CLASE DE RESISTENCIA POR TRATAMIENTO OBTENIDOS PARA LA MADERA EXPUESTA A *G. sepiarium*

Estadístico	Tratamientos*								
	CCA-C	P100	P50	P25	BO15	BO10	FB	BIO	T
Media (%)	5,39	36,66	30,34	27,32	14,07	5,62	11,66	3,72	43,72
(CV)	(23,48)	(30,7)	(28,71)	(34,10)	(36,83)	(33,48)	(28,32)	(54,25)	(21,39)
Resistencia**	AR	MR	MR	MR	R	AR	R	AR	MR
Mediana (%)	5,47	35,39	30,67	30,36	13,28	5,08	11,49	3,75	46,71
Prueba KW	H 125,94 P< 0,0001								

* CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%;

P: Paraformaldehído al 100%, 50% y 25%;

BO: Metaborato de sodio al 15% y 10%; FB: Fosfato-borato al 8%;

BIO: Preservante biodegradable al 5%; T: testigo sin impregnar.

**Clase de resistencia: AR, altamente resistente: 0%-10% Pp; R, resistente: 11%-24% Pp; MR, moderadamente resistente: 25%-44% Pp; NR, no resistente: >45% Pp.

De acuerdo con lo esperado, el mayor porcentaje medio de pérdida de peso (Pp) fue obtenido para el material testigo (T). La baja resistencia a la degradación de la albura de pino ponderosa expuesta a *G. sepiarium* se corresponde con los antecedentes registrados a nivel mundial y en el país para esta y otras especies de coníferas respecto de su alta susceptibilidad a este tipo de deterioro (Bernardis y Popoff, 2009; USDA Forest Service, 2010; Murace *et al.*, 2014).

Por su parte, los porcentajes de Pp obtenidos determinaron clases de resistencia diferentes entre grupos de tratamientos. En este sentido, la madera tratada con las 3 concentraciones de P resultó Moderadamente Resistente (MR) en coincidencia con lo obtenido para el T; aquella con FB y BO15 se comportó como Resistente (R); en cuanto al BO10 y el BIO determinaron que la madera se comporte como Altamente Resistente (AR) al igual que la tratada con CCA.

Para las muestras impregnadas con la solución BO10, opuestamente a lo esperado, a menor concentración y valor de retención (Cuadro N°2) fue obtenida mayor durabilidad (Cuadro N°3).

La existencia de diferencias significativas entre las medianas de Pp de los tratamientos (prueba de KW H= 125,94 y su p-value <0,0001) indicó que los productos ensayados influyeron sobre la Pp y de forma diferencial en correspondencia con los tipos de durabilidad obtenidos y, a causa de ello, se corrobora la diferente toxicidad de los preservantes, definiendo distintos grupos mediante comparación de rangos (Cuadro N°4).

Lo expuesto determinó que en esta instancia BIO y BO10 sean considerados como potenciales sustitutos del CCA.

Cuadro N°4
COMPARACIÓN DE RANGOS ENTRE TRATAMIENTOS PERTENECIENTES A LOS ENSAYOS DE TOXICIDAD

Tratamientos*	Ranks**				
BIO	14,25	A			
BO10	30,83	A			
CCA-C	30,95	A			
FB	61,87		B		
BO15	71,94		B		
P25	101,88			C	
P50	107,11			C	D
P100	118,65			C	D
T	132,31				D

* BIO: Preservante biodegradable al 5%;
BO10: Metaborato de sodio al 10%;
CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%;
FB: Fosfato-borato al 8%; BO15: Metaborato de sodio al 15%;
P: Paraformaldehído al 25%, 50% y 100%;
T: testigo sin impregnar.
**Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Durabilidad Adquirida por la Albura de Pino Ponderosa Estimada Mediante Ensayos de Permanencia

En el Cuadro N°5 son presentados los valores hallados a partir del análisis descriptivo y mediante la prueba KW para la variable porcentaje de pérdida de peso (Pp) por tratamiento producto de la exposición de la albura de Pino ponderosa a ciclos de intemperismo y posteriormente a la acción de la cepa *G. sepiarium*.

CUADRO N°5
VALORES MEDIOS Y MEDIANAS DE PÉRDIDA DE PESO Y CLASE DE RESISTENCIA POR TRATAMIENTO OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS DE PERMANENCIA PARA LA MADERA EXPUESTA A *G. sepiarium*

Estadístico	Tratamientos*								
	CCA-C	P100	P50	P25	BO15	BO10	FB	BIO	T
Media (%)	6,97	42,31	33,83	28,99	21,32	14,32	17,27	9,15	27,90
(CV)	(61,84)	(29,85)	(28,26)	(29,88)	(41,06)	(18,77)	(37,63)	(47,01)	(20,03)
Resistencia**	AR	MR	MR	MR	R	R	R	AR	MR
Mediana (%)	4,37	39,46	32,20	31,69	21,24	14,38	18,86	8,42	28,10
Prueba KW									

H: 101,94; P < 0,0001

* CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%;
P: Paraformaldehído al 100%, 50% y 25%;
BO15, BO10: Metaborato de sodio al 15% y 10%;
FB: Fosfato-borato al 8%; BIO: Preservante biodegradable al 5%;
T: testigo sin impregnar.
** Clase de resistencia: AR, altamente resistente: 0%-10% Pp; R, resistente: 11%-24% Pp; MR, moderadamente resistente: 25%-44% Pp; NR, no resistente: >45% Pp.

En coincidencia con lo hallado mediante ensayos de toxicidad (Cuadro N°3), la albura de pino ponderosa sin tratamiento (T) se comportó como MR.

En esta instancia, el menor porcentaje medio de Pp obtenido (Cuadro N°3 vs Cuadro N°5) podría deberse a la pérdida de azúcares libres en la madera consecuencia de los ciclos de intemperismo, carbohidratos esenciales para el inicio del proceso de colonización y degradación fúngica (Schwarze, 2007).

Respecto del material preservado, si bien en la totalidad de los tratamientos se determinó un aumento de Pp (indicando indirectamente pérdida de las soluciones por lavado, Cuadro N°3 vs Cuadro N°5), solo para el material preservado con BO10 dicho incremento significó un cambio en su rango de durabilidad, de AR paso a comportarse como R.

Lo hallado reflejó la mayor lixiviación de esta solución en relación al resto de los preservantes (tal la experiencia con bórax – ácido bórico) como también determinó para ella un comportamiento similar al del resto de las formulaciones con boro en su composición (BO15 y FB) en cuanto a la durabilidad otorgada al material (Cuadro N°5).

En cuanto a la madera con P, mantuvo su condición de MR y, consecuentemente, comportamiento similar al T; de igual modo la impregnada con la solución BO15 y la tratada con FB, ambas conservaron su comportamiento R y aquellas con CCA y BIO mantuvieron su condición de AR (Cuadro N°3 vs Cuadro N°5).

La prueba de KW, nuevamente determinó que las diferencias entre las medianas de Pp de los tratamientos fueron significativas ($H= 125,94$ y su $p\text{-value} < 0,0001$) corroborando el comportamiento diferencial de las soluciones en cuanto a permanencia y durabilidad otorgada al material, tendencia que se vio reflejada mediante comparación de rangos (Cuadro N°6).

De acuerdo con esto, la solución identificada como BIO continúa resultando la más competente en el marco de la búsqueda de preservantes potencialmente sustitutos del CCA.

Cuadro N°6
COMPARACIÓN DE RANGOS ENTRE TRATAMIENTOS PERTENECIENTES A LOS ENSAYOS DE PERMANENCIA

Tratamientos*	Ranks**				
CCA-C	15,00	A			
BIO	21,56	A			
BO10	42,40	A	B		
FB	51,38		B		
BO15	66,76		B	C	
T	90,05			C	D
P25	95,38				D E
P50	106,39				D E
P100	122,55				E

* CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%;

BIO: preservante biodegradable al 5%;

BO10: Metaborato de sodio al 10%;

FB: Fosfato-borato al 8%; BO15: Metaborato de sodio al 15%;

T: testigo sin impregnar;

P: Paraformaldehído al 25%, 50% y 100%.

**Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La prueba de Mann Whitney (Cuadro N°7) demostró la existencia de diferencias significativas entre ensayos para las soluciones en base a Boro y BIO y, consecuentemente, su mayor lixiviación respecto del resto de las soluciones.

Cuadro N°7
PRUEBA DE MW: COMPARACIÓN DE LAS MEDIANAS DE PÉRDIDA DE PESO ENTRE TIPO DE ENSAYO
POR TRATAMIENTO PARA LA ALBURA DE P. PONDEROSA EXPUESTA A *G. sepiarium*

Tratam*	Clasif.	Variable	Grupo	Grupo	N(1)	n(2)	Mediana(1)	Mediana(2)	W	p(2)
CCA-C	Tx-Pr	Pp %	1	2	20	10	5,47	4,37	146,50	0,7084
P100	Tx-Pr	Pp %	1	2	17	19	35,39	39,46	284,00	0,3337
P50	Tx-Pr	Pp %	1	2	19	18	30,67	32,20	373,50	0,3384
P25	Tx-Pr	Pp %	1	2	17	17	30,36	31,69	315,00	0,5467
BO15	Tx-Pr	Pp %	1	2	16	17	13,28	21,24	211,00	0,028
BO10	Tx-Pr	Pp %	1	2	18	10	5,08	14,38	232,50	<0,0001
FB	Tx-Pr	Pp %	1	2	15	16	11,49	18,86	179,00	0,0159
BIO	Tx-Pr	Pp %	1	2	12	18	3,75	8,42	98,00	0,0002
T	Tx-Pr	Pp %	1	2	16	20	46,71	28,10	427,00	<0,0001

* CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%;
P: Paraformaldehído al 100%, 50% y 25%;
BO15, BO10: Metaborato de sodio al 15% y 10%;
FB: Fosfato-borato al 8%;
BIO: preservante biodegradable al 5%;
T: testigo sin impregnar.

En referencia a los boratos, lo obtenido es compatible con los antecedentes registrados en torno a la tendencia al lixiviado de estos preservantes. A causa de ello, distintas investigaciones fueron conducidas a fin de lograr su fijación en la madera mediante la formación de complejos boro - taninos flavonoides; sílice-boro; de soluciones hidrosolubles de ácido bórico, gelatina y taninos; de complejos taninos – hexaminas - ácido bórico, entre otros (Walker, 2006; Caldeira, 2010; Thévenon *et al.*, 2010; Carmona *et al.*, 2012).

En cuanto a BIO, pese al lixiviado continúa siendo el más competente en la búsqueda de compuestos alternativos, particularmente por su toxicidad como también por los parámetros de impregnación obtenidos. Al igual que el CCA, BIO determinó que la madera se comporte como altamente resistente a menor concentración y retenciones respecto del resto de las soluciones y absorción del orden de los 500 kg de producto tóxico por metro cúbico de albura tratada. Asimismo el material expuesto a intemperismo mantuvo su clase de resistencia.

La efectividad de un tratamiento es determinada por la profundidad de penetración del preservante, por la distribución de dicha sustancia, por la cantidad de producto retenido como también por su toxicidad a los que se suma la permanencia como rasgo determinante de la situación de uso del material tratado (Paes *et al.*, 2008; Lebow, 2010). Murguía (2012) aporta antecedentes respecto de las ventajas de esta solución.

Por su parte, para el material tratado con CCA, la falta de diferencias significativas entre ensayos para las medianas de Pp y la elevada clase de resistencia estimada mediante los ensayos establecidos (Cuadros N° 3 a N° 6) se corresponden con los antecedentes en torno a la alta toxicidad y permanencia de este producto. Existen antecedentes generados en laboratorio acerca de la resistencia de *Pinus sylvestris* impregnado con CCA (Pp inferior al 10%) a la degradación por *G. sepiarium* consecuencia de la condición de cepa no tolerante al cobre (Kose y Kartal, 2010).

Respecto del paraformaldehído, los resultados obtenidos en ambos tipos de ensayo no avalan su utilización ante la necesidad de incrementar la durabilidad de la madera. Esta resina fenólica, resultante de la condensación del fenol/fenoles con un aldehído -en este caso Paraformaldehído-, conocida también como resina fenol-formol o fenol-formaldehído, está indicada ante requerimientos de aislamiento térmico y eléctrico por lo que encuentra aplicaciones en campos que van desde el aeroespacial al electrónico ya sea como polvos de moldeo, resinas para

laminados, adhesivos, impregnantes y recubrimientos superficiales, entre otros (Martín Moreno, 2005, tomado de Keil *et al.*, 2012).

Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier (FT-IR)

En el Cuadro N°8 se presentan las intensidades de absorbancia relativas de los números de onda asignados a los principales polímeros de la madera vía el análisis del material mediante FT-IR.

Cuadro N°8
RELACIÓN OBTENIDA ENTRE LA INTENSIDAD DE ABSORBANCIA DEL NÚMERO DE ONDA DESIGNADO A LOS POLÍMEROS

Tratamiento*	Condición Muestra**	Intensidades Relativas***		
		I ₁₅₀₈ / I ₁₁₆₄	I ₁₅₀₈ / I ₈₉₆	I ₁₅₀₈ / I ₁₇₃₄
T	t	0,56	1,61	3,04
	tx – pr	0,85 – 0,77	4,41 – 4,25	3,99 – 5,03
CCA-C	t	0,6	2,44	2,44
	tx – pr	0,66 – 0,65	2,6 – 3,43	3,11 – 2,99
BIO	t	0,52	2,63	2,25
	tx – pr	0,59 - 0,64	2,33 – 2,68	2,16 – 2,3
BO10	t	0,58	1,28	3,91
	tx – pr	0,84 – 0,7	3,5 – 342	2,88 – 2,32
FB	t	0,55	2,43	2,73
	tx – pr	0,54 – 0,61	2,5 – 1,49	2,94 – 2,92
BO15	t	0,54	2,37	2,41
	tx – pr	0,58 – 0,7	1,7 – 3,28	4,18 – 3,54
P25	t	0,62	1,64	3,57
	tx – pr	0,9 – 0,83	3,74 – 2,5	3,29 – 3,78
P50	t	0,58	2,45	2,44
	tx – pr	0,96 – 1,05	4,19 – 3,57	4,08 – 2,72
P100	t	0,55	2,37	2,47
	tx – pr	0,89 – 0,87	2,49 – 5,63	3,44 – 3,39

*CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%;

BIO: preservante biodegradable al 5%;

BO10: Metaborato de sodio al 10%; FB: Fosfato borato al 8%;

BO15: Metaborato de sodio al 15%;

P: Paraformaldehído al 25%, 50% y 100%.

**t: testigo de cada tratamiento, sin exposición a la cepa de pudrición castaña;

tx: exposición a *G. septiarium* mediante ensayos de toxicidad;

pr: exposición a *G. septiarium* mediante ensayos de permanencia *** I1508 / I1164: relación lignina-holocelulosa; I1508 / I896: relación lignina-celulosa; I1508 / I1734: relación lignina-hemicelulosas.

Diferentes reportes avalan la utilidad del análisis de las intensidades de absorbancia relativas (IARs) de los espectros FT-IR para la caracterización de materiales lignocelulósicos expuestos a degradación fúngica (Moore y Owen, 2001; Pandey y Pitman, 2003). En correspondencia con esto, las IARs I₁₅₀₈/I₁₁₆₄, I₁₅₀₈/I₈₉₆ e I₁₅₀₈/I₁₇₃₄ del material proveniente de ambos

ensayos (tx y pr) fueron compatibles con la habilidad de *G. sepiarium* para degradar selectivamente los polisacáridos de la madera de pino ponderosa. Las mayores IARs o tendencia en este sentido en la madera expuesta a biodeterioro (t vs tx / t vs pr) revelaron dicho patrón de despolimerización (Cuadro N°8). Pandey y Pitman (2003) arribaron a iguales resultados con albura de *Pinus sylvestris* expuesta a *Coniophora puteana*, responsable de pudrición castaña: esta especie removió selectivamente los carbohidratos provocando un aumento en la relación lignina/carbohidratos con el avance de la degradación. La madera bajo estudio también presentó una coloración castaña característica, compatible con la alteración oxidativa de la lignina que ocurre en este tipo de deterioro (Blanchette, 1995; Schwarze, 2007).

Asimismo, excepto para las muestras tratadas con los boratos, las IARs (principalmente I_{1508}/I_{1164}) se correspondieron con la toxicidad de los preservantes determinada indirectamente mediante porcentaje de pérdida de peso (Pp). En este sentido, los mayores valores obtenidos para los tratamientos P (P25, P50 y P100) fueron los esperados tomando en consideración la baja resistencia al deterioro (la menor respecto del resto de los tratamientos) que dichas soluciones le confirieron al material (Cuadro N°3).

En cuanto a las muestras con CCA, la I_{1508}/I_{1164} (valor vs su $t \leq 0,10$ y uno de los menores obtenidos) se correspondió con la alta resistencia estimada para dicho material. Por su parte I_{1508}/I_{896} e I_{1508}/I_{1734} fueron mayores a t , indicando en consecuencia, degradación de la celulosa y hemicelulosas (estas últimas por sobre la celulosa).

Lo obtenido fue compatible con el patrón de degradación de polisacáridos que producen las especies responsables de este tipo de deterioro en las primeras etapas del proceso de degradación (Pp $\leq 10\%$: Winandy y Morrell, 1993; Curling *et al.*, 2002) porcentaje de Pp estimado para la madera de este tratamiento (Cuadro N°3).

En cuanto al material con BIO, I_{1508}/I_{1164} e I_{1508}/I_{1734} (pertenecientes al grupo de los valores más bajos obtenidos) también se correspondieron con la toxicidad determinada para esta solución (Cuadro N°3); respecto de I_{1508}/I_{896} , lo hallado podría deberse al aumento relativo de la celulosa durante las primeras etapas del proceso de degradación, momento en el cual, según se indicó, las hemicelulosas son preferentemente atacadas. De acuerdo con esto, mediante FT-IR también quedó evidenciada la mayor toxicidad de la solución BIO (valores similares al de su correspondiente t y, salvo muy pocas excepciones, los más bajos respecto de los tratamientos con Boro y con P).

En referencia a las muestras tratadas con BO10, BO15 y FB, las IARs no se correspondieron con las Pp estimadas (toxicidad) (Cuadro N°3). La formación de complejos Boro-Boro y/o Boro-compuestos orgánicos determinarían el solapamiento de picos de absorbancia y, a causa de ello, interferencias en los resultados (Peak *et al.*, 2003).

Respecto de los ensayos de permanencia, en términos generales las IARs no se correspondieron con dicho comportamiento. De acuerdo con esto, en esta investigación, si bien las IARs permitieron identificar el curso y modo de degradación del material, solo fueron compatibles con la toxicidad (y consecuentemente con la pérdida de peso) de algunas de las soluciones. A causa de ello, las IARs no aportaron resultados concluyentes en torno a la toxicidad y permanencia diferencial entre las soluciones ensayadas; estas solo aportaron indicios en cuanto a la diferente toxicidad entre alguna de ellas. FT-IR no sería un indicador fidedigno del comportamiento de preservantes solubles que puedan tener reacciones que generen subproductos insolubles. Esto tal vez es consecuencia de interacciones en las muestras como resultado de la repolimerización y/o precipitación, involucrando los principios activos de los químicos, metabolitos fúngicos y/o productos de degradación en el material y la consecuente detección de niveles de absorbancia que no reflejan el contenido real de holocelulosa y lignina de la madera de partida. En este sentido, existen antecedentes acerca de la formación de complejos lignina-CCA (Cr) que alteran las lecturas FT-IR. Respecto de los compuestos en base a Boro, el pH, la estructura de la molécula y su polimerización (esto último estrechamente vinculado a su concentración), afectan los espectros infrarrojos (Moore y Owen, 2001; Peak *et al.*, 2003).

En el Cuadro N° 9 se presenta un ranking de productos resultante de la durabilidad por

tipo de ensayo que cada uno de ellos confirió a la madera. Además se asocia la clase de resistencia natural y adquirida de la madera de pino ponderosa a las categorías de riesgo de uso según norma IRAM 9600 (1998) para las que la madera de los distintos tratamientos presentaría aptitud.

Cuadro N°9
RANKING DE PRODUCTOS SEGÚN RESISTENCIA CONFERIDA A LA MADERA Y CLASE DE RIESGO/SITUACIONES DE USO POSIBLES PARA EL MATERIAL (IRAM 9600)

Ranking	Producto*	Toxicidad	Permanencia	Categoría de Riesgo
	CCA-C	A. Resistente	A. Resistente	R2 a R6
1	BIO	A. Resistente	A. Resistente	R2 a R5
2	BO10	A. Resistente	Resistente	R2 a R3 ¹
3	FB	Resistente	Resistente	R2 a R3 ¹
4	BO15	Resistente	Resistente	R2 a R3 ¹
5	P25	M. Resistente	M. Resistente	R2 ²
5	P50	M. Resistente	M. Resistente	R2 ²
5	P100	M. Resistente	M. Resistente	R2 ²
	Testigo	M. Resistente	M. Resistente	R2 ²

*Tratamientos: CCA-C: Arseniato de cobre cromatado al 2%;

BIO: preservante biodegradable al 5%;

BO10: Metaborato de sodio al 10%;

FB: Fosfato-borato al 8%; BO15: Metaborato de sodio al 15%;

P: Paraformaldehído al 25%, 50% y 100%.

1: La protección por diseño o recubrimientos hidrófugos en R3 incrementaría su vida en servicio particularmente como madera estructural.

2: En esta situación con posibilidades de humectación ocasional (CH > 20% promueve el ataque por hongos xilófagos) evitar su uso como madera estructural.

CONCLUSIÓN

La albura de pino ponderosa es moderadamente resistente al ataque de *G. sepiarium*, hongo con habilidad para causar pudrición castaña.

Si bien las soluciones en base a Boro y BIO otorgan a esta madera una resistencia mayor (durabilidad adquirida) a la que naturalmente posee, BIO poseería el mayor potencial como sustituto del CCA. La toxicidad de dicha solución evidenciada indirectamente mediante porcentaje de pérdida de peso y espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FT-IR) como también los parámetros de preservación obtenidos en el material, avalan su aptitud. Por su parte, si bien manifestó tendencia al lixiviado, el material mantuvo su condición de altamente resistente a la degradación fúngica.

Respecto del análisis de la madera mediante FT-IR, si bien las intensidades de absorbancia relativas permitieron evidenciar el curso y modo de degradación del material perteneciente a los 2 ensayos establecidos, estas solo fueron compatibles con la toxicidad de algunas de las soluciones. El solapamiento entre picos de absorbancia de los componentes

estructurales de la madera y otros polímeros resultantes de la transformación y polimerización de los principios activos y su interacción puede limitar su uso como único estimador del comportamiento del producto usado.

REFERENCIAS

ASTM D-2017-81 (Reapproved 1986), 1986. Standard Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods. ASTM Book of Standards, American National Standard, pag.: 348-352.

Bernardis, A. C. y Popoff, O., 2009. Durability of *Pinus elliottii* wood impregnated with Quebracho colorado (*Schinopsis balansae*) bio-protectives extracts and CCA. Maderas, Ciencia y Tecnología 11(2):107-115.

Blanchette, R., 1995. Degradation of the lignocellulose complex in wood. Canadian Journal of Botany 73(Suppl.1):999-1010.

Borralló Jiménez, M., 2007. Construcción en madera: influencia de los protectores de madera basados en sales hidrosolubles en la corrosión de herrajes metálicos. Informes de la construcción 59: 43-49.

Bozo G. A; Silva, R. y Montero, D., 2010. Resistencia a la flexión estática de madera de *Pinus radiata* D. Don. impregnada con cobre alcalino cuaternario (ACQ-D). Actas II Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera (A46), RIPMA, Mar del Plata, Argentina.

Caldeira, F., 2010. Boron in wood preservation. Review in its physico-chemical aspects. Silva Lusitana 18(2):179-196.

Carmona Cerdá, R. y Barahona Neyra, A., 2010. Desempeño de madera de *Pinus radiata* D. Don. impregnada con cobre alcalino cuaternario (ACQ-D) frente a hongos de pudrición y Termitas subterráneas. Actas II Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera (A28), RIPMA, Mar del Plata, Argentina.

Carmona, R.; Avrella, E. C. y Elgueta, R., 2012. Boratos: Una alternativa al CCA para la protección de la madera de *Pinus radiata* D. Don contra termitas subterráneas en aplicaciones de bajo riesgo. Actas III Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera, RIPMA, Concepción, Chile.

Coudert, L.; Blais, J. F.; Mercier, G.; Cooper, P.; Janin, A. y Gastonguay, L., 2014. Demonstration of the efficiency and robustness of an acid leaching process to remove metals from various CCA-treated wood samples. Jour. Environm. Manag., 132:197-206.

Coudert, L.; Blais, J. F.; Mercier, G.; Cooper, P.; Gastonguay, L.; Morris, P.; Janin, A. y Reynier, N., 2013. Pilot-scale investigation of the robustness and efficiency of a copper-based treated wood wastes recycling process. Journal of Hazardous Materials 261:277-285.

Curling, S.; Clausen, C. A. y Winandy, J. E., 2002. Experimental method to quantify progressive stages of decay of wood by basidiomycetes fungi. International Biodeterioration & Biodegradation 49:13-19.

Cvikrova, M.; Mala, J.; Hrubcova, M. and Eder, J.; 2006. Soluble and cell wall-bound phenolics and lignin in *Asccalyx abietina* infected Norway spruces. Plant Science 170:563-570.

Díaz, B.; Murace, M.; Peri, P.; Keil, G.; Luna, M. L. y Otaño, M., 2003. Natural and preservative treated durability of *Populus nigra cv Italica* timber grown in Santa Cruz Province, Argentina. International Biodeterioration & Biodegradation 52:43-47.

Encina, O., 2004. Conservación de maderas. Grupo de Investigación en Conservación de Maderas (GICOM), Universidad de Los Andes, Taller de Tratamiento de Maderas, Museo Salvador Valero, Núcleo Rafael Rangel – Ula. 22 pp.

EPA, 2016. Overview of Wood Preservative Chemicals. Agencia de Protección Ambiental de EEUU. www.epa.gov.

Escobar, E., 2012. Reemplazo de CCA para madera de construcción en Chile. III Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera. Concepción, Chile.

Espiñeira, J. M.; Novo Uzal, E.; Gómez Ros, L. V.; Carrión, J. S.; Merino, F.; Ros Barceló, A. y Pomar, F., 2011. Distribution of lignin monomers and the evolution of lignification among lower plants. Plant Biology 13:59-68.

Gherscovic, D. A., 2012. La situación de la protección industrial de la madera en Argentina. III Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera. Concepción, Chile.

Girardo Ramírez, M., 2010. Evaluación preliminar de preservantes para el control de termitas de madera seca en cuatro maderas provenientes de plantaciones forestales. Actas II Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera (A358), RIPMA, Mar del Plata, Argentina.

Highley, T. L.; Clausen, C. A.; Croan, S. C.; Green, F.; Illman, B. L. y Micales, J. A., 1994. Research on biodeterioration of wood, 1987-1992. I. Decay mechanisms and biocontrol. USDA Forest Service, Research Paper FPL-RP-529.

Hinterstoisser, B.; Jalkanen, R.; Nowotny, M. y Schwanninger, M., 2001. Lignification of Scots Pine trees from Arctic Circle up to timberline. *Buvisindi Icel. Agr. Sci.*, 14:55–59.

IRAM 9518, 1962. Toxicidad, Permanencia y Eficacia de Preservadores de Madera. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 12 pp.

IRAM 9600, 1998. Preservación de maderas. Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave. 23 pp.

Kose, C. y Kartal, S. N., 2010. Tolerance of brown-rot and dry-rot fungi to CCA and ACQ wood preservatives. *Turk. J. Agric. For.*, 34:181-190.

Keil, G.; Maly, L.; De Cristófano, N.; Refort, M.; Acciaresi, G., 2012. Comportamiento a la impregnación por vacío y presión de las maderas de *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws y *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Revista Facultad de Agronomía* 111(2):99-110.

Lebow, S. T., 2010. Wood preservation In: Wood Handbook - Wood as an engineering material: U.S. Department of Agriculture Forest Service. Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, Wisconsin, pag.: 1-15 a 1-28.

Luna, M. L.; Ramos Giacosa, J. P.; Giudice, G. E.; Fernández, P. V.; Ciancia, M. y Saparrat, M., 2015. Structure and chemistry of the xylem of arborescent species of *Blechnum* from South America. *IAWA Journal* 36:3-21.

Moore, A. K. y Owen, N. L., 2001. Infrared Spectroscopic Studies of Solid Wood. *Applied. Spectroscopy Reviews* 36(1):65-86.

Moreno, G.; Woottitz, A.; Carranza, M. E. y Segienowicz, R., 2010. Fijación del preservante CCA en maderas de *Pinus* sp y *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) y su influencia sobre el ambiente. Actas II Congreso Iberoamericano de Protección de la Madera (A15), RIPMA, Mar del Plata, Argentina.

Murace, M; Spavento, E.; Rivas, P.; Saparrat, M. y Keil G., 2014. Comportamiento de la madera del pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws.) expuesta a degradación por *Gloeophyllum sepiarium* (Gloeophyllales, Basidiomycota). *Quebracho- Revista de Ciencias Forestales* 22(1,2):114-124.

Murgía, M., 2012. Desarrollo de nuevos productos para la preservación de maderas. Laboratorio de Química Aplicada. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina. 10 pp.

Paes, J. B.; Coutinho Ramos, I. E. y Barbosa do Nascimento, J. W., 2008. Eficiência do CCB na resistência da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) a cupins xilófagos, em ensaio de alimentação forçada. *Floresta e Ambiente* 15(1):1–12.

Pandey, K. K. y Pitman, A. J., 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* 52:151-160.

Peak, D.; Luther, G. W. y Sparks, D. L., 2003. Atr-Ftir spectroscopic studies of boric acid adsorption on hydrous ferric oxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67(14):2551–2560.

Rodríguez Barreal, J. A., 1998. Problemática Ambiental. En: Patología de la Madera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 253 pp.

Saparrat, M. C.; Estevez, J. M.; Troncozo, M. I.; Arambarri, A. y Balatti, P., 2010. *In-vitro* depolymerization of *Scutia buxifolia* leaf-litter by a dominant Ascomycota *Ciliochorella* sp. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 64: 262–266.

- Schmidt, O., 2006.** Wood and tree decay. Biology, damage, protection and use. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 251 pp.
- Schwarze, F. W. M. R., 2007.** Wood decay under microscope. *Fungal Biology Reviews* 21:133-170.
- Thévenon, M. F.; Tondi, G. and Pizzi, A., 2010.** Environmentally friendly wood preservative system base on polymerized tannin-resin-boric acid for outdoor applications. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 12(3): 253-257.
- USDA, Forest Service, 2010.** Wood Handbook. Wood as an engineering material. Department of Agriculture. United States. 509 pp.
- Walker, J. C. F., 2006.** Primary wood processing. Principles and practice. 2da. Edición. Springer. 556 pp.
- Winandy, J. E. y Morrell, J. J., 1993.** Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas-Fir heartwood. *Wood and Fiber Science* 25(3):278-288.
- Wottitz, C. A. y Moreno, G. A., 2011.** Fijación química del preservante CCA-C en la madera de *Pinus elliotii*. Parte 1: influencia de la temperatura y de la humedad relativa. *Madera, Ciencia y Tecnología* 13(1):85-103.
- Wright, J. E. y Deschamps, J. R., 1976/77.** Basidiomicetos xilófilos de la Región Mesopotámica. III. Los géneros *Bjerkandera*, *Gloeophyllum*, *Gloeoporus*, *Hirschioporus*, *Hydnolyporus*, *Phaeocoriolellus*, *Pycnoporus* y *Xerotinus*. *Rev. Inv. Agrop. Serie 5, Patología vegetal* 13(2): 27-52.
- Zabel, R. A. y Morrell J. J., 1992.** Wood microbiology. Decay and its prevention. Academic Press Inc., 476 pp.

RESUMEN

La conservación y uso sustentable de los bosques tiene una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos directamente relacionados con el bienestar humano. Este concepto, ya ampliamente reconocido en el mundo, ha dado origen a diversos tratados internacionales destinados a conservar la biodiversidad forestal global. Una de estas iniciativas es la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos regulatorios, los índices de deforestación mundial muestran que desde el comienzo de la civilización se ha perdido alrededor del 46% de los bosques naturales, y que la tasa de deforestación se mantiene en un orden de 15 billones de árboles talados cada año. La tala ilegal y los delitos forestales inciden relevantemente en esta deforestación y representan unas de las mayores preocupaciones de los países con grandes masas boscosas. Un reciente informe del Banco Mundial afirma que los esfuerzos para frenar los delitos forestales, centrados principalmente en acciones preventivas, no han sido suficientes para detener la rápida desaparición de los bosques naturales, concluyendo que se necesitan nuevas ideas y estrategias para una preservación más efectiva de los bosques.

En tal contexto, el objetivo del presente artículo es mostrar algunas herramientas tecnológicas contemporáneas e innovadoras, que podrían contribuir complementariamente a la fiscalización de la tala ilegal y los delitos forestales; entre tales tecnologías se describen y comentan las potenciales aplicaciones de herramientas genéticas y de química instrumental, complementadas con tecnologías de información y comunicación (TIC).

Palabras clave: Herramientas tecnológicas, control, tala ilegal

SUMMARY

Conservation and sustainable use of forests have several environmental, social and economic benefits directly related to the men welfare. This concept, already worldwide recognized, has driven various international treaties to preserve the global forest biodiversity. One of these initiatives is the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES).

However, despite regulatory efforts, global deforestation rates show that since the beginning the civilization has lost about 46% of natural forests, and that the deforestation rate is held in the order of 15 billion trees felled each year. Illegal felling and forest crimes relevantly affect this deforestation and represent one of the biggest concerns of countries with large forest areas. A recent World Bank report says that efforts to curb forest crime, focusing mainly on preventive actions, have not been enough to stop the rapid natural forests disappearance, concluding that new ideas and strategies for more effective forests preservation are needed.

In this context, the objective of this article is to show some contemporary and innovative technological tools that could complementarily contribute to control illegal logging and forest crimes. Technologies as genetic tools and instrumental chemistry, supplemented by information and communication technologies (ICT) are described and discussed about its potential applications in this matter.

Keywords: Technology tools, control, illegal felling.

INTRODUCCIÓN

La conservación y uso sustentable de los bosques naturales tiene una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos cada vez más valorados en el mundo. La purificación del agua y aire, la atenuación del clima local, la regulación de los ciclos biogeoquímicos, el suministro de hábitat para animales, y la belleza escénica, entre otros, constituyen servicios ecosistémicos del bosque que contribuyen a mantener o mejorar la calidad de vida del hombre (Noss, 1990; Leathwick y Austin, 2001; Riginos y Grace, 2008; FAO, 2014; Crowther *et al.*, 2015; ONU, 2015).

Lo anterior deja en evidencia la gran importancia de los bosques naturales para el equilibrio de la vida humana y ha confirmado el interés por la ratificación y suscripción de diferentes tratados y acuerdos internacionales en relación al uso y manejo sostenible de tales bosques (una síntesis de tales acuerdos puede consultarse en Anexo 1). Sin embargo, a pesar de los múltiples acuerdos y regulaciones, la deforestación y la tala ilegal continúan siendo un problema en el mundo, requiriéndose de herramientas y políticas más efectivas para controlar esta situación. En tal sentido, el objetivo principal del presente apunte es mostrar algunas herramientas tecnológicas desarrolladas en el último tiempo, que pueden contribuir complementariamente a la fiscalización de la tala ilegal y delitos forestales, con el fin de mitigar esta problemática actual.

DEFORESTACIÓN, TALA ILEGAL Y BIODIVERSIDAD

En un estudio reciente realizado por Crowther *et al.* (2015), en el cual participaron investigadores forestales de diferentes partes del mundo, incluido Chile, se estimó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) la densidad aproximada actual de árboles a una escala global, concluyendo que desde el comienzo de la civilización humana se ha perdido alrededor del 46% de los bosques naturales, y que la tasa de deforestación se mantiene en un orden de 15 billones de árboles cortados cada año.

Diversos factores inciden en la deforestación mundial y la importancia relativa de cada uno de ellos varía entre continentes, países y tipos de bosque (ver FAO, 2015 para una revisión de tales factores). No obstante, existe consenso científico en que el principal factor de la deforestación mundial a través de la historia es el crecimiento de la población humana (necesidades de combustible y la conversión de áreas forestales en pastizales para su uso ganadero y campos de cultivo).

Sumado a lo anterior, hoy en día las actividades ilícitas asociadas a los bosques naturales, como la tala ilegal y los delitos forestales, también están contribuyendo a la deforestación mundial, especialmente en zonas tropicales, siendo recientemente unas de las mayores preocupaciones de los países con grandes masas boscosas, ya que no solo presenta un problema de dimensión ambiental, sino también involucra factores económico y sociales (Nelleman, 2012; Athanasiadis *et al.*, 2013; Roberedo, 2013).

Existe una gran confusión con respecto a la definición y el alcance de la tala ilegal de madera y los delitos forestales, debido a que abarcan un amplio espectro de actividades; desde las diversas prácticas de extracción ilegal, hasta actividades de contrabando, comercio ilegal, fijación ilegal de precios, clasificación ilegal de maderas, comercio no documentado y comercio ilegal de especies incluidas en los apéndices de CITES.

La tala ilegal y los delitos forestales amenazan la existencia de numerosas especies de plantas y animales. Las actividades ilegales tienen un impacto particularmente devastador sobre la biodiversidad cuando afecta a bosques vírgenes, incluyendo áreas protegidas que generalmente contienen especies de maderas nobles de alto valor, que ya han sido agotadas en otras áreas. Cuanto más amenazada está una especie, mayor es el valor comercial de los individuos remanentes de esta, por lo que aumenta el incentivo para incrementar las actividades ilícitas. El hecho de que parte del comercio de fauna y flora silvestres esté regulado, y en algunos casos prohibido, brinda oportunidades para sortear las leyes y reglamentaciones pertinentes a través de la utilización de documentos falsos.

La mayor parte de las iniciativas internacionales de lucha contra esta problemática están diseñadas para reducir las actividades ilícitas a través de la promoción de los acuerdos comerciales voluntarios o para promover prácticas sostenibles. Para esto se ha creado una serie de programas y regímenes de certificación, con el fin de reducir la tala ilegal. Todos estos programas, tales como los acuerdos de comercio voluntarios, incluidos los Acuerdos Voluntarios de Asociación (AVA), el Plan de Acción sobre la Aplicación de las Leyes, Gobernanza y Comercio Forestales (*Forest Law Enforcement, Governance and Trade*; FLEGT) o el certificado del Consejo de Administración Forestal (*Forest Stewardship Council*; FSC), han conseguido reunir a todas las partes interesadas y generar incentivos para las exportaciones legales y para una gestión forestal más sostenible.

Sin embargo, aunque estos tratados han tenido buenos resultados en cuanto a mercados internacionales (Ochieng *et al.*, 2013; Valbuena *et al.*, 2013), el mercado interno aun parece ser muy informal, esto debido a que el mayor porcentaje de productos certificados pertenece a grandes productores forestales y/o empresas privadas que logran finalizar el proceso de certificación, lo que podría estar dado por dos factores principales; i) Se trata de plantaciones grandes dirigidas a mercados de exportación que requieren un sello verde; ii) No les resulta elevado pagar el costo de la certificación, especialmente por la escala de producción en la que se encuentran.

SITUACION EN CHILE

En Chile la tala ilegal y los delitos forestales tienen mayor incidencia en la parte centro-sur del país, donde se encuentran las mayores masas boscosas, esto se refleja en la distribución espacial de cortas no autorizadas de bosque nativo, en donde desde la región del Biobío a la región de Magallanes y Antártica se concentra aproximadamente el 88,5% de los ilícitos, de igual manera el número de denuncias interpuestas por terceros por posibles infracciones a la legislación vigente, se concentra en estas regiones con un 74,14 % durante el periodo de Enero-Diciembre del 2011 (CONAF, 2011).

Según las cifras que maneja la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el año 2010 se detectaron 625 cortas ilegales en una superficie de 1.542 hectáreas, en 2011 estas cifras disminuyeron a 588, dañando a 1.457 hectáreas y en 2012, en tanto, se registraron 592 cortas en una superficie de 1.337 hectáreas (Diario La Tercera 13 de agosto 2013, 16-17pp).

Las investigaciones efectuadas en contra de tala ilegal de bosque nativo albergan los mayores porcentajes en las regiones de Aysén y Los Ríos, con un 62% y 32% del total del país, por otra parte la región Metropolitana y la de Arica-Parinacota, muestran bajos índices 5% y 1% en donde no se efectuó tala, sino más bien delitos forestales de venta y compra de productos madereros obtenidos de la tala ilegal (BIDEMA, 2015).

MARCO LEGAL Y NORMATIVA DE FISCALIZACIÓN EN CHILE

En lo que respecta al marco legal en Chile en materia forestal, son dos las principales normas vigentes. En primer lugar el Decreto Ley N° 701 de 1974, que fija el régimen legal de los terrenos forestales o preferentemente aptos para la forestación, y la Ley 20.283 de 2008, sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal.

Ambos cuerpos legales entregan competencia fiscalizadora a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), lo cual se encuentra en concordancia con la ley 18.348 de 1984 que creó dicha Corporación. En efecto, el art. 4 de dicho cuerpo legal indica, de un modo general, que la CONAF tendrá como funciones y atribuciones: j) N°4.- *“Aplicación, fiscalización y control del cumplimiento de las normas legales y reglamentarias sobre protección de los recursos suelo y agua, fauna y flora silvestre; plantación y explotación de especies arbóreas o arbustivas forestales; prevención, control y combate de incendios forestales, y uso del fuego en predios rústicos.”*

Decreto Ley 701 de 1974¹⁸

La administración, fiscalización y control de todo el sistema de fomento forestal establecido en esta norma legal le corresponde a la Corporación Nacional Forestal. Asimismo, su art. 24 entrega también facultades a Carabineros de Chile en esta materia.

Así, de acuerdo a esta norma, corresponde a CONAF, entre varias otras competencias:

- a. Pronunciarse sobre las solicitudes de Plan de Manejo de Reforestación o de Corrección (art. 8) y de Corta o Explotación y Reforestación (arts. 21 y 22).
- b. Pronunciarse sobre las solicitudes de Declaración de Bosques Nativos y de Bosques de Protección (art. 13).
- c. Determinar si denuncia al propietario o a quién efectúa la corta o explotación sin plan de manejo (art.21).
- d. Ordenar la inmediata paralización de faenas en el caso de explotación ilegal de los bosques, pudiendo solicitar el auxilio de la fuerza pública en caso necesario (art. 21).
- e. Formular las denuncias a los Juzgados de Policía Local en caso de infracciones al Decreto Ley 701, el cual aplicará las sanciones y multas previstas en el mismo cuerpo legal (art. 24).
- f. Levantar Actas de las infracciones detectadas. Los controles podrán realizarse mediante fotografía aérea o sensores remotos, sin perjuicio de otros medios de prueba (art. 24 bis).
- g. Ingresar a los predios o centros de acopio para los efectos de controlar el cumplimiento de la ley, previa autorización del administrador y en caso de negativa, solicitar al Juez competente el auxilio de la fuerza pública (art. 24 bis B).
- h. Fiscalizar el cumplimiento de los planes de manejo (art. 31).

En cuanto a los medios de prueba, los controles que efectuare la CONAF para verificar el cumplimiento del Decreto Ley, podrán realizarse personalmente mediante inspecciones de sus funcionarios o utilizando fotografías aéreas o sensores remotos, sin perjuicio de cualquier otro medio de prueba, de acuerdo a lo previsto en el art. 24 bis.

Ley 20.283 de 2008

La Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y de Fomento Forestal recoge de una manera general el mismo sistema de administración forestal, de regulación de la corta de bosques y la obligación de reforestar, de fiscalización y de sanción, que el contenido en el D.L. 701 de 1974. Aunque, dada su naturaleza más específica le otorga a la Corporación Nacional Forestal, otras importantes facultades de certificación y fiscalización en diversas materias de fomento y protección de árboles, arbustos y bosques nativos, estableciendo asimismo, un nuevo sistema de infracciones e ilícitos penales, con sus correspondientes sanciones.

Así, particularmente en su artículo 5, la ley establece diversas obligaciones a cumplir, tales como:

- a. La obligatoriedad de contar con un plan de manejo aprobado por la CONAF, para toda acción de corta de bosque nativo, cualquiera sea el tipo de terreno en que este se encuentre.
- b. Cumplir las órdenes técnicas del plan de manejo aprobado.

¹⁸ El Decreto Ley 2565, de 1979, del Ministerio de Agricultura, sustituyó el Decreto Ley 701 de 1974.

- c. Regenerar o reforestar una superficie, a lo menos igual a la cortada, en las condiciones prevista en el plan de manejo.
- d. Acreditar la tenencia legal o transporte de maderas de bosque nativo.

En cuanto a la fiscalización, la Ley de Bosque nativo y su Reglamento General entregan esta labor a la Corporación Nacional Forestal respecto del cumplimiento de los planes de manejo, planes de trabajo y demás normas contenidas en la ley.

De acuerdo al art. 47 de la Ley, detectada una infracción los funcionarios deben levantar un Acta, que debe ser firmada por el presunto infractor y el funcionario de CONAF que tenga carácter de ministro de fe o por Carabineros de Chile.

Si la infracción a la Ley consiste en una corta no autorizada, el funcionario fiscalizador de CONAF debe entregar un Informe Técnico que contenga, a lo menos, la ubicación georreferenciada del lugar, las especies cortadas, número de ejemplares, estado o grado de la explotación o elaboración, indicar si las los productos o especies se encuentran en el lugar y una valorización comercial estimada de esos productos.

La CONAF podrá solicitar al Tribunal competente la paralización de las faenas no autorizadas, solicitando el auxilio de la fuerza pública, si fuere necesario.

Con el Acta de Infracción, el respectivo Director Regional de CONAF efectuará la correspondiente denuncia ante el Tribunal competente o el Ministerio Público.

La Ley de Bosque Nativo contempla 3 tipos de sanciones:

1. Multas en dinero
2. Decomiso o comiso
3. Penas privativas de libertad

La aplicación de una u otra sanción dependerá del tipo de infracción cometida, de la existencia o no de un plan de manejo, del monto económico comprometido y/o de la categoría de conservación de la especie comprometida en la infracción.

Es del caso señalar que, además de la legislación indicada, existe también la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y su reglamento, que pudiera tener aplicación en caso que producto de la intervención o afectación de un bosque nativo se cause un daño ambiental, lo cual dará lugar al nacimiento de dos acciones civiles contra el autor del daño. La primera de ellas, denominada "acción ambiental o de reparación", que tiene por objeto la reparación del medio ambiente dañado o de uno o más de sus componentes, y; la segunda de ellas, denominada "acción de indemnización de perjuicios", que tiene por objeto la reparación de los perjuicios económicos derivados del daño ambiental.

Por último, en el caso de comercio internacional, las especies en particular alerce (*Fitzroya cupressoides*), araucaria (*Araucaria araucana*) y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), se rigen bajo lo establecido en el Decreto Supremo de 1974 que incluye a estas dentro de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), el cual establece a la CONAF como autoridad administrativa, al Instituto Forestal (INFOR) como autoridad científica, y a la Policía de Investigaciones de Chile (PDI) y Carabineros de Chile como autoridades de observancia, los cuales en conjunto cumplen la labor de regular, evaluar y fiscalizar el comercio internacional de las especies incluidas en CITES.

MODELO DE FISCALIZACIÓN

Actualmente la CONAF, en su rol de fiscalización, emplea verificaciones en terreno, para cortas no autorizadas (sin plan de manejo), esta actividad es llevada a cabo con personal de

Carabineros de Chile, para lo cual se pueden realizar controles mediante fotografías áreas o sensores remotos, sin perjuicio de otros medios de prueba. De acuerdo a lo previsto en el art. 58 de Ley 20.283 exige que las personas naturales o jurídicas que participen en cualquier etapa del proceso de explotación del bosque nativo deban acreditar, a requerimiento de la autoridad correspondiente, que los productos primarios del bosque nativo que se encuentren en su poder provienen de una corta autorizada por CONAF.

Para verificaciones en la trazabilidad, se establecen controles carreteros usando como medio de verificación la Guía de Libre Tránsito primaria (de origen a primer destino) o secundaria (de primer destino a otros destinos), sistema de marcaje alfanumérico de los productos previamente autorizados por la CONAF (en caso de alerce) y la fiscalización en centros de acopios o transformación mediante la verificación del plan de manejo y guía libre tránsito. La Guía de Libre Tránsito es el documento exigido para acreditar que los productos primarios de bosque nativo que sean transportados, copiados o que se encuentren en poder de personas naturales o jurídicas, provienen de una corta autorizada por CONAF. Para ello, CONAF pone a disposición las Guías correspondientes al plan de manejo que haya sido aprobado, de acuerdo a un formato pre establecido. Sin perjuicio de lo recién indicado, un informe reciente del Banco Mundial afirma que a pesar de los esfuerzos para frenar los delitos forestales, centrados principalmente en las acciones preventivas, no han detenido la rápida desaparición de los árboles de edad madura del mundo. Se necesitan nuevas ideas y estrategias para preservar lo que queda de los bosques (Goncalves *et al.*, 2012). A continuación se muestran algunas herramientas tecnológicas contemporáneas e innovadoras, que podrían contribuir complementariamente a la fiscalización de la tala ilegal y delitos forestales.

HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS COMPLEMENTARIAS

Herramientas Visuales (Microscopía y Macroscopía)

La identificación de madera ha sido tradicionalmente llevada a cabo mediante el examen por parte de especialistas en anatomía y morfología de la madera, los cuales examinan la estructura interna y las características macroscópicas (organolépticas) para la identificación (Wheeler *et al.*, 1989; Richter *et al.*, 2004). Sin embargo, estas herramientas poseen ciertas limitaciones debido a que se requiere de personal altamente capacitado para poder diferenciar microscópicamente, por otra parte las características macroscópicas son inestables en el tiempo, lo que puede conducir a errores. Este punto se puede mejorar notablemente mediante el empleo de Tecnologías de la Información y Comunicación.

Por otra parte, existen ciertas innovaciones tecnológicas que han surgido en el último tiempo con el objetivo de mejorar estas metodologías tradicionales, algunos *softwares* de reconocimiento de imágenes tales como “Machine Vision®”, desarrollado por Hermanson y Wiedenhoef (2011), “Visual System Development Platform” desarrollado por Khalid *et al.* (2008) y “Mask Matching Imagen” por Wang *et al.*, 2013, los cuales a través de sofisticados métodos de captura de imágenes y algoritmos de clasificación, pueden facilitar la identificación de maderas, sobre todo en especies estrechamente relacionadas, que a menudo son difíciles de diferenciar mediante metodologías tradicionales.

Dentro de sus ventajas sobresalen el nivel técnico y velocidad de los proceso, ya que los equipos actualmente son portátiles (solo “Machine Vision®”), en tiempo real y no necesitan personal técnico especializado, disminuyendo el problema de la especialización. Su uso por tanto se puede extender a servicios de aduana, centros de acopio o fiscalizaciones en rutas. Sin embargo, todos necesitan calibraciones previas para elaborar bases de datos, las cuales servirán como contrastante al momento de su uso.

En el caso de Machine Vision® los algoritmos usados para generar esta base de datos aún están bajo el derecho de la patente. El sistema operativo y software es de código abierto, por lo que se puede adquirir gratuitamente, el equipo se puede adquirir bajo contrato, como cualquier equipo. El prototipo del sistema ha sido usado en USA, Brasil, Alemania, Reino Unido y China.

Herramientas Genéticas

Las herramientas genéticas, específicamente los marcadores genéticos, han sido reportados como una innovadora técnica ampliamente utilizada en la criminología y medicina forense. En el caso de delitos con especies vegetales, algunos investigadores han demostrado su efectividad para identificar y/o verificar el origen de material vegetal (Glaubitz y Moran, 2000; Deguilloux *et al.*, 2003; 2004; Finkeldey *et al.*, 2010). Los marcadores moleculares corresponden a secuencias genéticas localizadas en sitios específicos del genoma, que presentan una gran variación (polimorfismo) a nivel intra e interpoblacional. Estas variantes genéticas, conocidas como alelos, funcionan como una verdadera huella genética (*fingerprints*) dentro del genoma y pueden ser detectados fácilmente mediante técnicas de biología molecular. Con ello se permite la diferenciación de especies (Byrne *et al.*, 2013; Narum *et al.*, 2013) y lo más significativo, podría ayudar a determinar regiones de procedencia de los productos forestales madereros investigados (Finkeldey *et al.*, 2010; Hasbún *et al.*, 2016).

Si bien en el pasado el uso de marcadores moleculares solía ser posible solo para un conjunto *a priori* de candidatos o para un conjunto limitado de *loci* al azar, debido al número restringido de marcadores disponibles y el costo de la realización de los ensayos (Martín *et al.*, 2013), las nuevas técnicas moleculares permiten hoy la evaluación de una gran cantidad de variables alélicas a un costo y tiempo reducido, y sin la necesidad de datos genéticos previos (Elshire *et al.*, 2011). Dado que es una técnica genética, no es necesario disponer información de la altura, edad o estado del material vegetal, aunque tenerla puede ser ventajoso. Es por eso que esta técnica sobresale sobre el resto por su alta capacidad resolutive (Nowakowska, 2011).

Dentro de sus desventajas, están el tiempo y el personal especializado que se requiere, lo que se puede compensar por su alto grado de exactitud. Su uso se justifica en investigaciones post-tala, donde podría dilucidar el origen del material incautado permitiendo el seguimiento durante toda la trazabilidad, o bien complementar la diferenciación de especies con un alto grado de exactitud, en muestras estrechamente relacionadas, donde los métodos visuales poseen poco poder resolutive.

Herramientas Químicas Instrumentales

- a) **Espectroscopia de Infrarrojo Cercano:** Esta tecnología, está basada en la interacción de la luz electromagnética infrarroja y la absorción de esta mediante la vibración molecular de la materia, ampliamente utilizada para análisis cuantitativos y cualitativos (Tsuchikawa y Kobori, 2015)

La diferencia en la composición química de las especies vegetales generará diferencias en los espectros de absorción, dichos espectros pueden ser utilizados para generar un modelo predictivo cualitativo (librería espectral), y de esta forma diferenciar las especies. Dentro de sus ventajas resalta el hecho que hoy en día la tecnología ha avanzado a tal punto que se han desarrollado equipos portátiles alimentados con baterías con una independencia de 4 a 6 horas de duración. Fácilmente utilizable en fiscalizaciones en ruta, centros de acopio, servicios de aduanas, etc. Sin embargo, la capacidad predictiva esta correlacionada con la librería espectral, a mayor variabilidad espectral en la librería mejor su capacidad predictiva.

Algunos investigadores han demostrado que mediante un modelo de calibración apropiado, presenta una alta capacidad predictiva para diferenciar especies en muestras de madera en todas sus formas; aserrín, aserrada, rollizos, etc. Batista *et al.* (2011) demostró la confiabilidad de esta herramienta en *Swietenia macrophylla* así como un gran número de otras especies (Cooper *et al.*, 2011; Russ y Fiserova 2011; Yang *et al.*, 2012a y 2012b).

Por otra parte, algunos investigadores han probado esta tecnología con el fin de obtener regiones de procedencias dentro de una misma especie (Sandak *et al.*, 2011; Prades *et al.*, 2012), probando el supuesto que una especie que crece en regiones con condiciones diferentes de clima local, suelo, pendiente, densidad del bosques, prácticas silvícolas,

fauna, enfermedades y otros factores, puede mostrar diferencias importantes en las propiedades químicas de la madera. Algunas propiedades, asociadas a la procedencia, también podrían estar relacionadas con factores de corto plazo (por ejemplo, las temporadas de cosecha) o fenómenos a largo plazo (por ejemplo, cambios en las condiciones ambientales durante décadas). La madera producida en un sitio determinado lleva un registro de todas las condiciones mencionadas anteriormente, y pueden ser correlacionadas con la química que presente (Sandak *et al.*, 2011).

- b) Espectrometría de Masas:** Esta tecnología sumada a los actuales avances en la informática y estadística, entrega una herramienta analítica de gran precisión, convirtiéndose en una de las más efectivas en los laboratorios analíticos de investigación y/o diagnóstico (Musah *et al.*, 2015).

Una de las diferenciaciones entre las especies vegetales es el contenido de compuestos químicos que constituyen sus tejidos (hojas, cortezas, maderas etc.), que en su conjunto se denomina metaboloma, esto representa un verdadero perfil químico (huella química), el cual corresponde a la expresión de la genética propia de cada especie. Dicho perfil puede variar en la cantidad y/o contenido de estos compuestos, además pueden existir algunos propios para una especie, denominados “biomarcadores”, los cuales no están presentes en otras especies, incluso si estas están genéticamente relacionadas. La espectrometría de masas es capaz de detectar estas pequeñas diferencias, las cuales no son posibles de ver a través de los métodos instrumentales convencionales para entregar un criterio de clasificación de especies basados en su química. Dentro de las ventajas de esta herramienta se destaca el bajo costo y la nula preparación por muestra, sin embargo posee un alto costo para la adquisición del equipo y se necesita personal altamente especializado para su manejo, lo que es dificultoso. Sin embargo, como herramienta complementaria en investigaciones posee un gran poder resolutivo.

Actualmente, existen varios trabajos en donde se ha utilizado esta técnica para clasificación de especies estrechamente relacionadas, tales como las del género *Dalbergia* (Lancaster y Espinoza, 2012a, Espinoza *et al.*, 2015; McClure *et al.*, 2015) y *Aquilaria* (Lancaster y Espinoza, 2012b, Espinoza *et al.*, 2014), afectadas por el comercio ilegal internacional. La mayoría de estas especies se encuentran anexadas a los apéndices de la CITES.

En este mismo contexto, existe un proyecto colaborativo entre Chile y Estados Unidos de América, en donde las instituciones nacionales INFOR-CONAF y dos organizaciones estadounidenses; Programa Internacional de Asistencia Técnica del Departamento de Interior (DOI-ITAP) y Laboratorio del Servicio de Peces y Vida Silvestre (FWS), se encuentran desarrollando un registro químico utilizando la tecnología DART-MS (Espectrometría de Masas en Tiempo Real), en las especies; alerce (*Fitzroya cupressoides*) y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), las cuales actualmente se encuentran incluidas en los apéndices de CITES (datos aún no publicados).

- c) Termogravimetría:** Técnica analítica mediante la cual se mide el peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura, mientras se somete a un programa de temperatura controlado en una atmosfera específica. Esta variación puede ser una pérdida o una ganancia de masa. El registro de estos cambios dará información sobre si la muestra se descompone o reacciona con otros componentes, y esto será en función a su composición química, usando este principio se ha logrado utilizarla para la diferenciación de especies (Francisco-Fernández *et al.*, 2012, 2015).

Es una técnica de alta precisión, sin embargo su desventaja es que se necesita personal altamente especializado y un costo inicial bastante alto para la adquisición del equipo, su uso se justifica en caso de investigación post-tala, para diferenciar especies, sin embargo dada su complejidad es la menos conveniente dentro de las técnicas de química analítica.

Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)

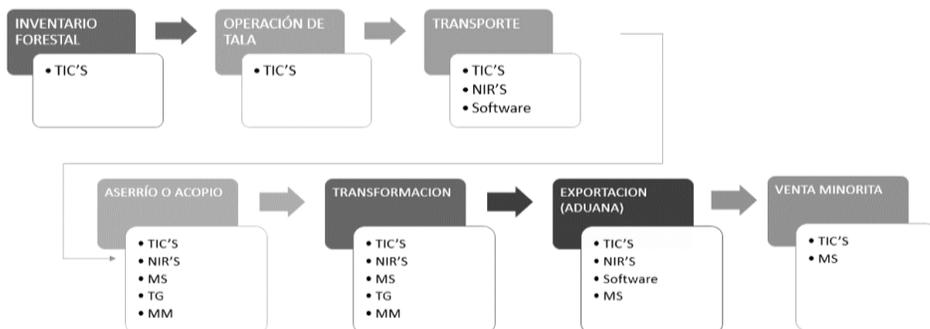
Disponer de información precisa y actualizada es esencial para prevenir, detectar, investigar y en última instancia erradicar los delitos forestales. Este punto ha sido notablemente mejorado a través del empleo de TIC (Athanasiadis *et al.*, 2013).

- a. **Documentos Electrónicos:** Todos los documentos de respaldo en la comercialización de la madera (trazabilidad) pueden ser digitalizados. Las nuevas plantillas de documentos pueden incorporar características de seguridad en forma de código de barras, código QR, o firma electrónica, que son inmediatamente verificables mediante el uso de dispositivos inteligentes de bajo costo. Las funciones de seguridad se pueden verificar en línea, mediante el acceso a la web.
- b. **Tags Inteligentes en Marcado de Madera:** En la actualidad, el marcado de madera se realiza con martillos que marcan con algún sello o el código específico (etiquetas tradicionales). Sin embargo esto es un punto débil que se puede mejorar significativamente mediante la introducción de etiquetas únicas digitales. Usando el mismo enfoque de a) se puede verificar la veracidad de dichas etiquetas digitales en tiempo real.
- c. **Redes Sociales:** La información en tiempo real, puede ser llevada a cabo mediante la utilización de redes sociales o plataformas interconectadas que vinculen a un panel de expertos en herramientas visuales (Microscopía o Macroscopía) con los puntos de fiscalización y/o investigación donde se requiera la identificación de madera, esto mediante la transferencia de imágenes de alta resolución en tiempo real, disminuyendo costo de traslado del personal experto y/o de muestras donde las características macroscópicas de madera son inestables en el tiempo.
- d. **Detección de Rutas de Camiones:** El monitoreo efectivo de las rutas establecidas por camiones que transportan trozas es sin duda un punto a mejorar. Esta es una tarea difícil, pero la implementación de sistemas de posicionamiento global (GPS) puede ser una alternativa para detectar rutas de camiones, e informar en línea su itinerario. Además se puede complementar con la implementación de un sistema de marcaje (sello) en los camiones para controlar entradas y salidas dentro de los bosques.
- e. **Drones:** El uso de aeronaves no tripuladas (en su conjunto "drones"), dotadas con cámaras de alta resolución espacial, en el monitoreo de los cambios de uso en la cobertura forestal, permite la obtención de evidencia en tiempo real en terrenos de difícil acceso donde la fiscalización vía terrestre puede ser no operativa. La gran ventaja es el bajo costo y fácil manipulación de estos equipos en campo.

Sin bien existen muchas otras técnicas en las cuales se ha demostrado que poseen algún grado de resolución en la clasificación especies a través de su madera, tales como; la Calorimetría (Tarrío-Saavedra *et al.*, 2010, 2013), el análisis de Stress-Wave (Rojas *et al.*, 2011), el análisis por Rayos-X (Kobayashi *et al.*, 2015) y la Fluorescencia (Piuri y Scotti, 2010), muchas de estas aún están en proceso de prototipo y otras necesitan ajuste en el procesamiento de los datos obtenidos, por lo que poseen una baja capacidad de reproducción, por esta razón no se discutirán en este trabajo.

En la Figura N° 1 se muestra una estrategia de implementación, en base a un esquema básico de trazabilidad de los productos forestales madereros, resaltando en qué punto de la cadena del valor se justifica el uso de estas herramientas tecnológicas complementarias. Se puede observar la importancia de la implementación de las herramientas TIC las cuales pueden complementar a las demás herramientas tecnológicas durante toda la cadena.

Por otra parte, en el Cuadro N° 1 se puede revisar una comparación de las técnicas discutidas en este trabajo, en base a las variables más importantes a considerar al momento de su implementación, como la capacidad resolutive, los costos de implementación y el nivel técnico requerido para llevarlas a la práctica.



Software: Herramientas visuales
 MM: Marcadores moleculares
 NIR: Espectroscopia de infrarrojo cercano
 MS: Espectrometría de masas

TG: Termogravimetría
 TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

Figura N° 1
USO DE LAS DIFERENTES HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS COMPLEMENTARIAS EN LAS DISTINTAS ETAPAS DE UN MODELO BÁSICO DE TRAZABILIDAD DE PRODUCTOS FORESTALES MADEREROS

Cuadro N° 1
COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA IDENTIFICACIÓN DE MADERAS

Parámetro	Microscopía y Macroscopía	Software de Reconocimiento	Marcadores Moleculares	Electroscopia Infrarroja	Espectrofotometría de Masas	Termogravimetría
ID individuos	No	No	Ocasionalmente	No	No	No
ID especies	Regularmente	Regularmente	Sí	Sí	Sí	Sí
ID genero	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sin información
ID procedencia	No	Sin Información	Sí	Sí	Sí	Sin información
Determinación de edad	No	No	No	No	No	No
Velocidad del proceso ^A .	Minutos-Días	Segundos-Minutos	Horas	Segundos	Segundos-Minutos	Segundos-Horas
Información previa	Ninguna, Sin embargo el género podría ayudar	Bases de datos	Se requiere que al ADN corresponda a la muestra	Calibración previa	Ninguna	Calibración previa
Nivel técnico	Especializado	Básico	Especializado	Básico-Medio ^C	Especializado	Especializado
Costo aproximado por muestra ^B .	<US\$ 100	<US\$ 1	<US\$ 50	Sin información	<US\$ 1	<US\$ 80
Equipo requerido	Microscopios y Herramientas de observación.	Cámara de visualización, Softw ares	Laboratorio de Biología Molecular	Espectroscopio de infrarrojo (además de librerías)	Espectrómetro de Masas (además según el modelo se requerirá un equipo de extracción ej.: Cromatógrafo HPLC)	Analizador Termogravimétrico
Desventajas	Carencia de especialistas en anatomía de la madera, falta bases de datos actualizadas y completas.	Incorporación de material de referencia dentro de los softw ares	Falta de desarrollo de marcadores moleculares para cada especie.	Falta de desarrollo de bases de calibraciones (Librerías)	Falta de desarrollo de bases de calibraciones (biomarcadores), Costo inicial del equipo, personal altamente especializado	Costo inicial del equipo, personal altamente especializado

^A La velocidad puede variar según el modelo del equipo utilizado, esta solo es referencia.

^B Todos los costos son aproximaciones según cotizaciones a empresas o centros que prestan el servicio.

^C Las estandarizaciones de los instrumentos portátiles de hoy en día, pueden ser usadas a un nivel básico de usuario, sin embargo para los análisis de datos se requiere conocimiento en estadística.

CONCLUSIONES

La superficie forestal del planeta representa uno de los pilares más importantes del bienestar humano, es por esto que su conservación va en directo beneficio de calidad de vida del hombre. De esto se concluye que para mantener las condiciones de vida de las futuras generaciones se requiere pensar críticamente en la conservación y protección de la biodiversidad actual. Mediante un modelo de desarrollo sustentable que involucre un crecimiento económico con equidad social y conservación ambiental.

Existen nuevas herramientas tecnológicas, innovadoras y accesibles, que pueden complementar el actual sistema de fiscalización de productos forestales madereros de Chile. Esto permitirá prevenir, detectar y/o investigar la tala ilegal y los delitos forestales, tanto en el comercio nacional como en el internacional.

La implementación del uso de estas herramientas requiere la integración multidisciplinaria de profesionales para abordar el problema desde diferentes perspectivas, promoviendo el empleo de las tecnologías existentes al mismo tiempo que se desarrollan las nuevas políticas.

REFERENCIAS

Athanasiadis, I.; Anastasiadou, D.; Koulinas, K.; Kiourtsis, F., 2013. Identifying Smart Solutions for Fighting Illegal Logging and Timber Trade. In *Environmental Software Systems. Fostering Information Sharing* (pp. 143-153). Springer Berlin Heidelberg.

Batista, J.; Monteiro, T.; Rauber, V.; Alves, J.; Da Silva A., 2011. The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (CITES Appendix II). *Iawa Journal* 32:285–296.

BIDEMA, 2015. Metodología de investigación criminalística de delitos relacionados con especies maderables. Segundo Taller Internacional "Trazabilidad y Control Transfronterizo de Productos de Especies Maderables incluidos en los Apéndices de CITES". Arica 17 -19-de noviembre de 2015. Chile.

Byrne, S.; Czaban, A.; Studer, B.; Panitz, F.; Bendixen, C.; Asp, T., 2013. Genome Wide Allele Frequency Fingerprints (GWAFs) of Populations via Genotyping by Sequencing. *PLoS ONE* 8(3): e57438.

CONAF, 2011. Denuncias interpuestas por terceros por presuntas infracciones a la legislación forestal vigente, para el periodo enero - diciembre de 2011. [En línea, Consultado 3 de Julio 2015] Disponible en: http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1360872975denunciasplanes_manejofiscalizacion_mar2012.xls

Cooper, P.; Jeremic, D.; Radivojevic, S.; Ung, Y.; Leblon B., 2011. Potential of near-infrared spectroscopy to characterize wood products. *Canadian Journal of Forest Research* 41:2150–2157

Crowther, T.; Glick, H.; Covey, K.; Bettigole, C.; Maynard, D.; Thomas, S.; Smith, J.; Hintler, G.; Duguid, M.; Amatulli, G.; Tuanmu, N.; Jetz, W.; Salas, C.; Stam, C.; Piotta, D.; Tavani, R.; Green, S.; Bruce, G.; Williams, S.; Wiser, S.; Huber, M.; Hengeveld, G.; Nabuurs, G.; Tikhonova, E.; Borchardt, P.; Li, C.; Powrie, L.; Fisher, M.; Hemp, A.; Homeier, J.; Cho, P.; Vibrans, C.; Umunay, P.; Piao, S.; Rowe, C.; Ashton, M.; Crane, P.; Bradford, M., 2015. Mapping tree density at a global scale. *Nature* 525:201-205.

Deguilloux, M.; Pemonge, M.; Bertel, L.; Kremer, A.; Petit, R., 2003. Checking the geographical origin of oak wood: molecular and statistical tools. *Molecular Ecology* 12:1629-1636.

Deguilloux, M.; Pemonge, M.; Petit, R., 2004. DNA-based control of oak wood geographic origin in the context of the cooperage industry. *Annals of Forest Science* 61:97-104.

Elshire, R.; Glaubitz, J.; Sun, Q.; Poland, J.; Kawamoto, K.; Buckler, E. and Mitchell, S., 2011. A Robust, Simple Genotyping-by-Sequencing (GBS) Approach for High Diversity Species. *PLoS ONE* 6: e19379.

Espinoza, E.; Lancaster, C.; Kreitals, N.; Hata, M.; Cody, R.; Blanchette, R., 2014. Distinguishing wild from cultivated agarwood (*Aquilaria* spp.) using direct analysis in real time and time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 28:281-289.

Espinoza, E.; Wiemann, M.; Barajas-Morales, J.; Chavarría, G.; McClure, P., 2015. Forensic Analysis of Cites-Protected *Dalbergia* Timber from the Americas. *IAWA Journal*, 36:311-325.

FAO, 2014. Plan de acción mundial para la conservación, utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales.

FAO, 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales, compendio de datos. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf>

Finkeldey, R.; Leinemann, L.; Gailing, O., 2010. Molecular genetic tools to infer the origin of forest plants and wood. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85:1251-1258.

Francisco-Fernández, M.; Tarrío-Saavedra, J.; Mallik, A.; Naya, S., 2012. A comprehensive classification of wood from thermogravimetric curves. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 118:159-172.

Francisco-Fernández, M.; Tarrío-Saavedra, J.; Naya, S.; López-Beceiro, J.; Artiaga, R., 2015. Classification of wood using differential thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 120:541-551.

Gallardo, Enrique, 2013. Manual de Derecho Forestal, Corporación Nacional Forestal.

Glaubitz, J.; Moran, G., 2000. Genetic tools: the use of biochemical and molecular markers. En: Young A, Boshier D, Boyle T (Eds.). *Forest conservation genetics: principles and practice*. CSIRO-CABI, pp. 39-59.

Goncalves, M.; Panjer, M.; Greenberg, T.; Magrath, W., 2012. Justice for forests. Improving criminal justice efforts to combat illegal logging. The World Bank, Washington, DC, p 42

Hasbún, R.; Gonzalez, J.; Iturra, B.; Fuentes, G.; Alarcon, D.; Ruiz, E., 2016. Using Genome-Wide SNP Discovery and Genotyping to Reveal the Main Source of Population Differentiation in *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. in Chile. *International Journal of Genomics*. Volume 2016 (2016), Article ID 3654093, 10 pages.

Hermanson, J. and Wiedenhoeft, A., 2011. A brief review of machine vision in the context of automated wood identification systems. *IAWA Journal*, Vol. 32:233-250.

Kobayashi, K.; Akada, M.; Torigoe, T.; Imazu, S.; Sugiyama, J., 2015. Automated recognition of wood used in traditional Japanese sculptures by texture analysis of their low-resolution computed tomography data. *Journal of Wood Science*, 61:630-640.

Khalid, M.; Lee, E.; Yusof, R.; Nadaraj, M., 2008. Design of an intelligent wood species recognition system. *International Journal of Simulation System, Science and Technology*, 9:9-19.

Lancaster, C. and Espinoza, E., 2012a. Analysis of select *Dalbergia* and trade timber using direct analysis in real time and time-of-flight mass spectrometry for CITES enforcement. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26:1147-1156.

Lancaster, C. and Espinoza, E., 2012b. Evaluating agarwood products for 2-(2-phenylethyl) chromones using direct analysis in real time time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26:2649-2656.

Leathwick, L. and Austin, M., 2001. Competitive interactions between tree species in New Zealand old-growth indigenous forests. *Ecology* 82:2560–2573.

McClure, P.; Chavarria, G.; Espinoza, E., 2015. Metabolic chemotypes of CITES protected *Dalbergia* timbers from Africa, Madagascar, and Asia. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 29783-788.

Martín, M.; Mattioni, C.; Lusini, I.; Molina, J.; Cherubini, M.; Drake, F.; Herrera, M.; Villani, F.; Martín L., 2013. New insights into the genetic structure of *Araucaria araucana* forests based on molecular and historic evidences. *Tree Genetics & Genomes* 10:839-851.

Musah, R.; Espinoza, E.; Cody, R.; Lesiak, A., 2015. A High Throughput Ambient Mass Spectrometric Approach to Species Identification and Classification from Chemical Fingerprint Signatures. *Scientific reports*, 5.

Narum, S.; Buerkle, C.; Davey, J.; Miller, M.; Hohenlohe, P., 2013. Genotyping-by-sequencing in ecological and conservation genomics. *Molecular Ecology*, 22(11), 2841-2847.

Nellemann, C., 2012. INTERPOL Environmental Crime Programme. In: Carbon, G. (ed.) *Black Trade: Illegal Logging, Tax Fraud and Laundering in the Worlds Tropical Forests. A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal (2012), www.grida.no

Noss, R., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.

Nowakowska, J., 2011. Application of DNA markers against illegal logging as a new tool for the Forest Guard Service. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 2011, Vol. 53 (2), 142–149

Ochieng, R.; Visseren-Hamakers, I.; Nketiah, K., 2013. Interaction between the FLEGT-VPA and REDD+ in Ghana: Recommendations for interaction management. *Forest Policy and Economics*, 32: 32-39.

ONU, 2015. *Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe 2015.*

Piuri, V. and Scotti, F., 2010. Design of an Automatic Wood Types Classification System by Using Fluorescence Spectra. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews* 40: 358–366.

Prades, C.; Gomez-Sanchez, I.; Garcia-Olmo, J.; Gonzalez, R., 2012. Discriminant analysis of geographical origin of cork planks and stoppers by near infrared spectroscopy. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 32:54–70.

Richter, H.; Grosser, D.; Heinz, I.; Gasson, P. (Eds.), 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Bulletin (N.S.)* 1: 1–70.

Riginos, C. and Grace, J., 2008. Savanna tree density, herbivores, and the herbaceous community: bottom-up vs. top-down effects. *Ecology* 89:2228–2238.

Rojas, J.; Alpuente, J.; Postigo, D.; Rojas, I.; Vignote, S., 2011. Wood species identification using stress-wave analysis in the audible range. *Applied Acoustics*, 72:934-942.

Robledo, F., 2013. Socio-economic, environmental, and governance impacts of ilegal logging. *Environment Systems and Decisions*, 33: 295-304.

Russ, A. and Fiserova, M., 2011. Estimation of hardwood species in mixture by near infrared spectroscopy. *Wood Res* 56:93–103

Sandak, A.; Sandak, J.; Negri, M., 2011. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and the geographical provenance of timber. *Wood Science and Technology* 45:35-48.

Tarrío-Saavedra, J.; Naya, S.; Francisco-Fernández, M.; López-Beceiro, J.; Artiaga, R., 2010. Functional nonparametric classification of wood species from thermal data. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 104:87-100.

Tarrío-Saavedra, J.; Francisco-Fernández, M.; Naya, S.; López-Beceiro, J.; Gracia-Fernández, C.; Artiaga, R., 2013. Wood identification using pressure DSC data. *Journal of Chemometrics*, 27:475-487.

Tsuchikawa, S. and Kobori, H., 2015. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science* 61:213-220.

Valbuena, P.; Gomez, R.; Herrero, J.; Segur, M., 2013. Trazabilidad: reto y oportunidad para los territorios en el mercado de productos forestales. 6 Congreso Forestal Español 10-14 Junio 2013.

Yang, Z.; Jiang, Z.; Lu, B. 2012a. Investigation of near infrared spectroscopy of rosewood. *Spectrosc Spectr Anal* 32:2405–2408.

Yang, Z.; Lu, B.; Huang, A.; Liu, Y.; Xie, X., 2012b. Rapid identification of softwood and hardwood by near infrared spectroscopy of cross-sectional surfaces. *Spectrosc Spectr Anal* 32:1785–1789.

Wang H-j.; Zhang G-q.; Qi H-n., 2013. Wood Recognition Using Image Texture Features. *PLoS ONE* 8(10): e76101.

Wheeler, E.; Baas, P.; Gasson, P., 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull. New Ser.* 10:219–332.

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
DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DE UN HUERTO SEMILLERO CLONAL DE GENERACIÓN AVANZADA DE <i>Nothofagus obliqua</i> (Mirb.) Oerst. Ipinza, Roberto; Gutiérrez, Braulio; Clasing, Germán; Corti, Dante y Molina, María Paz. Chile.	7
VARIACION GENETICA DEL INDICE DE RAJADO DE ROLLIZOS EN <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden. López, Juan; Borralho, Nuno; López, Augusto; Marcó, Martín y Harrand, Leonel. Argentina.	23
EVALUACIÓN DE SUPERVIVENCIA Y DESARROLLO INICIAL DE 42 PROGENIES DE PEUMO (<i>Cryptocarya alba</i> (Mol.) Looser) ESTABLECIDAS EN LA PROVINCIA DE ARAUCO, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE. Gutiérrez, Braulio y Chung, Patricio. Chile.	35
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SOLUCIONES CON POTENCIALIDAD FUNGUICIDA MEDIANTE ENSAYOS DE BIODEGRADACIÓN EN LABORATORIO Y FT-IR. Murace, Mónica; Saparrat, Mario; Maly, Laura y Keil, Gabriel. Argentina.	45
APUNTES	
HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS COMPLEMENTARIAS PARA LA FISCALIZACIÓN DE TALA ILEGAL Y DELITOS FORESTALES CONTRA LOS BOSQUES NATURALES. González, J.; Gutiérrez, B.; Molina, M. P.; Ipinza, R. y Lobo, F. Chile.	63
REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN	77

