



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-281

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Modelo área foliar-área de albura de *Austrocedrus chilensis* y *Nothofagus dombeyi* para el análisis del crecimiento de bosques mixtos

CASELLI M.<sup>1,2</sup>, LOGUERCIO G.A.<sup>1,2,3</sup>, DEFOSSÉ G.E.<sup>1,2,3</sup>, URRETAVIZCAYA M.F.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>3</sup> Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB)

### Resumen

Existe un creciente interés internacional por el manejo de bosques mixtos, debido a sus virtudes productivas y su mayor capacidad de adaptación a disturbios, frente a los monoespecíficos. La silvicultura de los bosques *Austrocedrus chilensis*, una conífera endémica de los bosques andinopatagónicos, se encuentra condicionada en parte de su distribución natural por el “mal del ciprés”, una enfermedad que produce mermas de crecimiento y mortalidad, asociada a *Phytophthora austrocedri*, características de sitio y a eventos climáticos extremos. Este disturbio modifica la estructura, impulsando la regeneración natural de *A. chilensis* y cuando hay fuente de semilla cercana, también de *Nothofagus dombeyi*, una latifoliada con la que *A. chilensis* se combina en parte de su distribución natural. Con la incorporación de *N. dombeyi* surge una posibilidad a evaluar de manejo adaptativo para conducir los bosques afectados como bosques mixtos. Para el manejo se propone utilizar modelos explicativos del crecimiento a través de la distribución de área foliar entre especies y estratos. Se presentan primeros resultados del desarrollo del modelo de área de albura-área foliar por especie de *A. chilensis* y *N. dombeyi* a partir de muestreos destructivos y su aplicación para estudiar la distribución del crecimiento en distintas estructuras de rodales mixtos.

### Palabras clave

Manejo silvícola, índice de área foliar, estructura compleja, área de albura

### 1. Introducción

La estructura, dinámica y funcionamiento de bosques mixtos es un tópico de investigación con creciente relevancia internacional (Bravo-Oviedo 2014). Esto se debe a que se considera que los bosques mixtos presentan más resistencia y resiliencia frente a disturbios naturales y antrópicos, mayor biodiversidad (Scherer-Lorenzen et al. 2010), más capacidad de adaptación al cambio climático y de almacenamiento de carbono, para contribuir a su mitigación (Kolstrom et al. 2011), y mayor productividad y provisión de servicios ambientales (Jactel et al. 2009). Investigaciones en la temática contribuyen al conocimiento para una silvicultura adaptativa, el manejo forestal sustentable y la conservación.

*Austrocedrus chilensis* es una conífera endémica de los bosques andino-patagónicos argentinos. El manejo silvícola de *A. chilensis* se encuentra condicionado por el mal del ciprés, una enfermedad compleja asociada principalmente con *Phytophthora austrocedri* (Greslebin y Hansen 2009), que produce mermas en el crecimiento y mortalidad. Los bosques enfermos pierden progresivamente su estructura y valor, siendo limitadas las posibilidades de un manejo forestal sustentable (Loguercio 1998, Loguercio et al. 2016). En algunos rodales con mal del ciprés, debido a la reducción de la cobertura del dosel, se inicia el proceso de regeneración natural de *A. chilensis* y también se incorpora regeneración de *Nothofagus dombeyi* (Loguercio 1998, Amoroso y Larson 2010, Amoroso et al. 2012), una latifoliada de alto valor forestal con la que *A. chilensis* se combina en parte de su distribución natural (Veblen y Lorenz 1987). *N. dombeyi* posee ventajas competitivas que se

expresan en su mayor tasa de crecimiento y desarrollo en altura (Veblen y Lorenz 1987, Dezzotti 1996), por lo que su incorporación incrementaría la productividad en rodales mixtos respecto a los puros de *A. chilensis* (Loguercio 1998). Naturalmente *A. chilensis* y *N. dombeyi* se combinan formando estructuras bi-multiestratificadas, cuya dinámica es necesario conocer para la toma de decisiones de manejo a nivel de rodal.

Diversos estudios (Long y Smith 1990, O'Hara 1996, O'Hara et al. 1999) han demostrado la importancia que la ocupación tridimensional del espacio de crecimiento, el cual puede representarse con el área foliar, tiene sobre el crecimiento y la productividad de los rodales. Este aspecto cobra especial importancia en el diseño de esquemas de manejo de bosques mixtos, donde los recursos del sitio son utilizados de diferente forma por los distintos componentes del rodal (especies y estratos de altura). El área foliar es una variable importante tanto en estudios ecofisiológicos como silviculturales para cuantificar la producción potencial de los árboles y es considerada la variable biológica más apropiada para modelar el crecimiento a nivel individual y de rodal, debido a que de ella dependen procesos esenciales como la fotosíntesis, respiración, transpiración y absorción de luz (Waring 1983, Long y Smith 1984, O'Hara y Gersonde 2004). El área foliar tiene una relación estrecha con el área de albura en la base de la copa viva (Waring et al. 1982), lo que puede ser explicado mediante el modelo de tubos de Shinozaki et al. (1964ab). A su vez, existe una fuerte relación entre el área de albura en la base de copa viva y el área de albura a la altura del pecho (1.3 m) (Long et al. 1981, Waring et al. 1982, O'Hara y Valappil 1995). Dado que esta última es más simple de determinar, suele ser utilizada para la estimación indirecta del área foliar (Long et al. 1981, Long y Smith 1988, O'Hara et al. 1999, O'Hara et al. 2001). A tal fin se desarrollaron modelos de predicción del área foliar a través del área de albura a la altura de inicio de la copa viva y modelos de predicción del área de albura a la altura de inicio de la copa viva a partir del área de albura a 1.3 m de altura para *A. chilensis* y *N. dombeyi*. Estos modelos están siendo aplicados en parcelas de muestreo en rodales mixtos de *A. chilensis-N. dombeyi*, para determinar el índice de área foliar (suma de las áreas foliares por unidad de superficie) y su relación con el crecimiento en volumen.

## 2. Objetivos

Los objetivos son elaborar modelos de estimación del área foliar de *A. chilensis* y *N. dombeyi* en base al área de albura a 1.3 m de altura y el área de albura en la base de la copa viva; y estudiar el crecimiento de rodales mixtos de estas especies, por especie y estrato de alturas en relación al índice de área foliar.

## 3. Metodología

Para la elaboración de los modelos de área foliar-área de albura se realizaron muestreos destructivos de árboles de ambas especies en bosques mixtos ubicados en el Paraje Río Manso y la Reserva Forestal Loma del Medio, ambos en la Provincia de Río Negro, Argentina. Se muestrearon un total de 20 ejemplares de *N. dombeyi* y 19 ejemplares de *A. chilensis*, incluyendo árboles del estrato de alturas superior (dominantes-codominantes) e inferior (intermedios-oprimidos) con distintos largos de copa viva, a fin de captar mayor variabilidad.

Para determinar el área foliar se pesó la copa de cada árbol, se estableció la proporción en peso entre ramas y hojas, y mediante secado en estufa se determinó el peso seco de hojas para conocer la relación peso húmedo/peso seco de hojas. Se determinó la relación área foliar/peso seco (área foliar específica), mediante procesamiento digital con el software ImageJ, para luego relacionar ésta con el peso de la copa. El área de albura se determinó en cada ejemplar mediante imágenes digitales de rodajas obtenidas del fuste a 1.3 m de altura y en la base de la copa viva, procesadas con el software ImageJ. Se ensayaron modelos lineales, logarítmicos, potenciales y polinómicos para ambas especies a fin de predecir el área de albura en la copa viva a partir del área de albura a 1,3 m de altura y para predecir el área foliar a partir del área de albura a 1.3 m de altura.

Para el estudio de bosques mixtos naturales se seleccionaron diferentes estructuras con distinta participación de ambas especies en cercanías de los sitios donde se realizaron los muestreos destructivos. Se establecieron 10 parcelas de entre 700 y 1000 m<sup>2</sup>. En las mismas se censaron todos los árboles midiendo DAP, altura total y de inicio de la copa viva, y se tomaron muestras de tarugos a 1.3 m de altura de cada individuo. Con las muestras de tarugos se determinó el crecimiento de los últimos 10 años y el área de albura, para luego mediante los modelos de área foliar individual elaborados, estimar el índice de área foliar (IAF) a nivel de rodal y la eficiencia de crecimiento (crecimiento en volumen/índice de área foliar).

#### 4. Resultados

La tabla 1 muestra las características promedio de los árboles utilizados para la elaboración de los modelos y sus desvíos estándar para el estrato de alturas superior (dominantes y codominantes) e inferior (intermedios y oprimidos).

Tabla 1. Diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT), altura de la base de la copa viva (HBCV), área de albura a 1.3 m (AAN), área foliar (AF) y peso seco total de las hojas (PSTH) promedios y desvíos estándar para los árboles de *A. chilensis* y *N. dombeyi* del estrato (Est.) superior e inferior utilizados para la elaboración de los modelos.

	<i>A. chilensis</i>						<i>N. dombeyi</i>					
Est.	DAP (cm <sup>2</sup> )	HT (m)	HBCV (m)	AAN (cm <sup>2</sup> )	AF (m <sup>2</sup> )	PSTH (kg)	DAP (cm <sup>2</sup> )	HT (m)	HBCV (m)	AAN (cm <sup>2</sup> )	AF (m <sup>2</sup> )	PSTH (kg)
Sup.	32,6 (6,4)	21,0 (4,4)	8,2 (4,3)	336,3 (84,3)	92,0 (17,0)	17,2 (2,7)	34,3 (5,1)	22,6 (3,9)	10,0 (2,6)	610,7 (121,5)	135,2 (31,0)	17,5 (3,8)
Inf.	17,2 (6,4)	14,7 (4,4)	7,2 (4,3)	114,1 (84,3)	25,6 (17,0)	3,9 (2,7)	13,9 (5,8)	14,1 (3,9)	4,9 (2,6)	135,6 (121,5)	31,7 (31,0)	3,7 (3,8)

Se elaboraron modelos preliminares para ambas especies y se continúa trabajando para obtener los ajustes más adecuados incorporando otras variables como el largo de copa o altura de inicio de la copa viva y separando los modelos según estratos de altura.

Los resultados preliminares muestran ajustes satisfactorios entre el área de albura a 1.3 m (AAN) y el área de albura en la base de la copa viva (AABCV) para ambas especies (Tabla 2). Los mejores ajustes para *N. dombeyi* y *A. chilensis* se lograron con funciones potenciales siendo el R<sup>2</sup> de 0.94 y de 0.85, respectivamente (Figura 1).

Tabla 2. Modelos preliminares ajustados entre el área de albura en la base de la copa viva (AABCV) y el área de albura a 1,3 m (AAN) para *A. chilensis* y *N.dombeyi*.

	Modelos ajustados	R <sup>2</sup>
<i>N. dombeyi</i>	$AABCV = 0,9928 * AAN^{0,9377}$	0.94
	$AABCV = -0,0001 * AAN^2 + 0,7284 * AAN + 8,7888$	0.94
	$AABCV = 0,6173 * AAN + 22,148$	0.94
<i>A. chilensis</i>	$AABCV = 2,1809 * AAN^{0,8029}$	0.85
	$AABCV = 0,0002 * AAN^2 + 0,6346 * AAN + 17,416$	0.83
	$AABCV = 0,7285 * AAN + 8,2606$	0.83

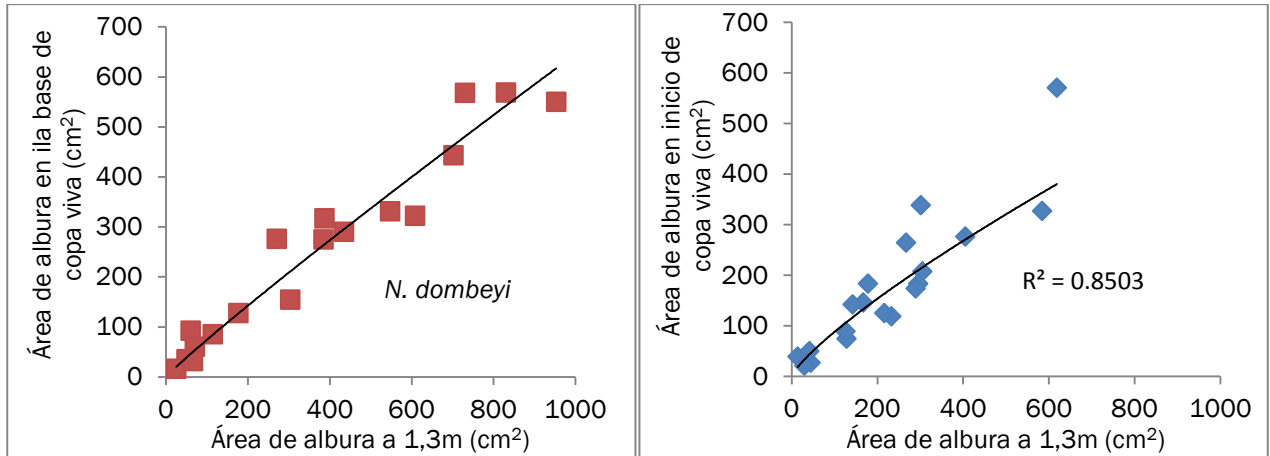


Figura 1. Modelo de área de albura en la base de la copa viva (cm<sup>2</sup>) en relación al área de albura a 1,3 m (cm<sup>2</sup>) para *N. dombeyi* y *A. chilensis*.

La relación entre el área foliar (AF) y el área de albura en base de copa viva (AABCV) también mostró buenos ajustes para ambas especies (Tabla 3). Los mejores ajustes para *N. dombeyi* y *A. chilensis* se lograron con funciones potenciales siendo el R<sup>2</sup> de 0.88 y de 0.93, respectivamente (Figura 2).

Tabla 3. Modelos preliminares ajustados entre el área foliar (AF) y el área de albura en la base de la copa viva (AABCV) para *A. chilensis* y *N. dombeyi*.

	Modelos ajustados	R <sup>2</sup>
<i>N. dombeyi</i>	$AF = 0,3462 * AABCV^{0,9762}$	0.88
	$AF = 0,0004 * AABCV^2 + 0,147 * AABCV + 11,702$	0.72
	$AF = 0,3521 * AABCV - 5,437$	0.71
<i>A. chilensis</i>	$AF = 0,1514 * AABCV^{1,1473}$	0.93
	$AF = -0,0005 * AABCV^2 + 0,5739 * AABCV - 17,512$	0.83
	$AF = 0,3225 * AABCV + 3,5876$	0.77

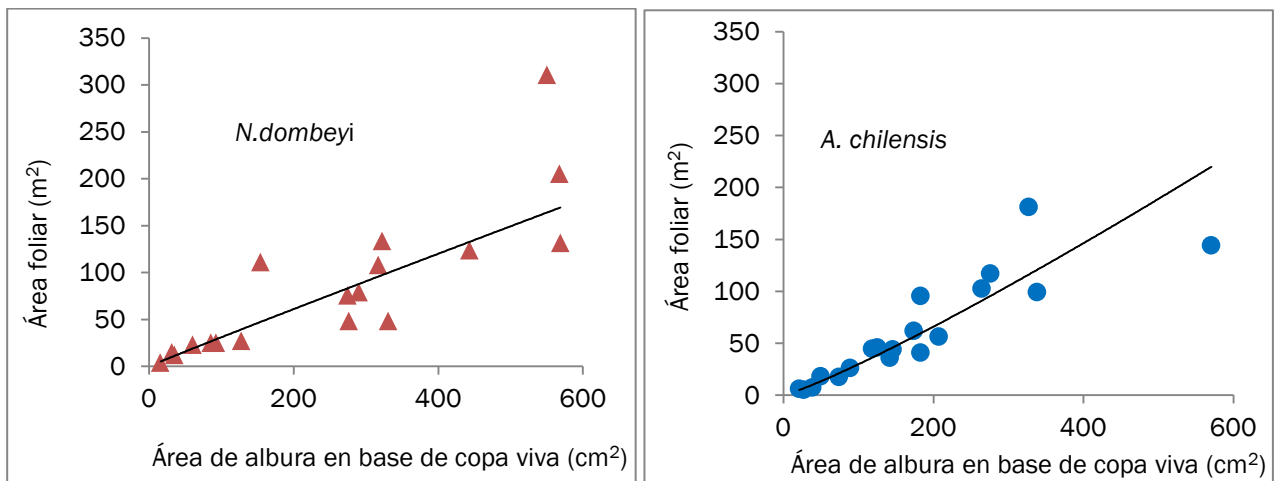


Figura 3. Modelo de área foliar (m<sup>2</sup>) en relación a la albura en la base de la copa viva (cm<sup>2</sup>) para *N. dombeyi* y *A. chilensis*.

Ambas especies muestran comportamientos similares en la relación área foliar-área de albura en la base de la copa viva, aunque se observa mayor variabilidad en *N.dombeyi* a mayor área de albura.

En cuanto al análisis de las estructuras se continúa con el procesamiento de las muestras relevadas a fin de conocer el crecimiento en volumen de todos los árboles. Las estructuras estudiadas poseen un área basal promedio de 59,3 m<sup>2</sup>/ha (DS: 9,3), con porcentajes de mezcla de especies que varían entre 80% de *A. chilensis* con 20% de *N. dombeyi* a 33% de *A. chilensis* con 67% de *N. dombeyi*. El número de árboles por hectárea varía entre 651 y 2365, con un promedio de 1281 (DS: 593), siendo mayor el porcentaje de árboles de *A. chilensis* respecto de *N. dombeyi* en 8 de las 10 estructuras estudiadas. La altura dominante para *A. chilensis* es 22,1 m (DS: 2,8) y para *N. dombeyi* es 26 m (DS: 4,4).

Los resultados para las primeras dos estructuras analizadas muestran que el IAF es similar en ambas estructuras pese a la diferencia en área basal (Tabla 4). A nivel de rodal el IAF es similar para *A. chilensis* y *N. dombeyi* en las dos estructuras estudiadas. La eficiencia de *N. dombeyi* es muy superior a la de *A. chilensis*. La diferencia en eficiencia entre el estrato superior e inferior es grande en *N. dombeyi*, siendo mayor en el estrato superior, mientras que en *A. chilensis* la diferencia es pequeña. *N. dombeyi* aporta más del 75% del incremento corriente en volumen del rodal en ambas estructuras.

Tabla 4. Área basal (AB), índice de área foliar (IAF), incremento corriente en volumen (ICV), eficiencia de crecimiento (EC) de dos rodales mixtos de *A. chilensis*-*N. dombeyi*.

		<i>A. chilensis</i>			<i>N. dombeyi</i>			TOTAL MIXTO
		EST. SUPERIOR	EST. INFERIOR	TOTAL	EST. SUPERIOR	EST. INFERIOR	TOTAL	
RM-E-04	AB (m <sup>2</sup> /ha)	13,7	13,8	27,5	47,1	1,7	48,8	76,3
	IAF	1,1	0,96	2,06	3,19	0,20	3,39	5,46
	ICV (m <sup>3</sup> /ha y año)	0,6	0,6	1,2	6,8	0,2	7	8,2
	EC	0,56	0,58	0,57	2,13	1,11	2,07	1,50
RM-E-05	AB (m <sup>2</sup> /ha)	30,4	5,1	35,5	12,8	4,9	17,6	53,1
	IAF	2,21	0,47	2,68	2,15	0,87	3,02	5,70
	ICV (m <sup>3</sup> /ha y año)	1,5	0,2	1,7	4,7	1	5,6	7,3
	EC	0,67	0,43	0,63	2,16	1,14	1,87	1,29

## 5. Discusión

Los modelos elaborados tienen ajustes similares a los obtenidos en estudios con otras especies en el hemisferio Norte (O'Hara & Valappil 1995, O'Hara et al. 2001, Stancioiu y O'Hara 2005). La relación entre el área de albura en la base de la copa viva y el área de albura a 1,3 m es no lineal al igual que las reportadas para especies de coníferas del hemisferio Norte por O'Hara et al en 2001.

La relación entre el área foliar y el área de albura en el inicio de la copa viva es similar en ambas especies en los rangos estudiados y a su vez es similar al que existe en otras especies como las estudiadas por Stancioiu y O'Hara (2006). La mayor variabilidad en área foliar para áreas de albura grandes en *N. dombeyi* puede deberse a la posibilidad que tendría esta especie de modificar la

forma de la copa según las condiciones de crecimiento, pudiendo soportar mayor área foliar en relación al área de albura en condiciones favorables.

No se tiene conocimiento de la existencia de antecedentes en estudios de estructuras mixtas de *A. chilensis* y *N. dombeyi* en relación al IAF. Estudios en bosques puros de *N. dombeyi* realizados por Zamorano (2004) en Chile muestran IAF similares a los encontrados en las estructuras analizadas en este trabajo. O'Hara et al (2001) reportan para bosques mixtos de coníferas y latifoliadas del hemisferio Norte, valores de IAF a nivel de rodal y a nivel de especies y estratos de alturas similares a los encontrados en este estudio.

Según Smith y Long (1992) especies con grandes IAF a nivel de rodal interceptan mayor cantidad de radiación que especies con menor IAF de rodal, pero generalmente utilizan este IAF menos eficientemente. Sin embargo, *N. dombeyi* presenta valores mayores de IAF a nivel de rodal que *A. chilensis* y su eficiencia es muy superior.

Si bien para generar recomendaciones de manejo es necesario continuar con el análisis de estructuras de bosques mixtos de *A. chilensis* y *N. dombeyi* y realizar simulaciones y ensayos, con la información recabada al momento se puede señalar que la mayor eficiencia de *N. dombeyi* respecto a *A. chilensis* le permite una ocupación del sitio rápida, dejando relegado a *A. chilensis* a un estrato más bajo de alturas y con menores crecimientos que los esperados en sitios sin *N. dombeyi*. Asimismo *N. dombeyi* creciendo en bosques mixtos naturales puede desarrollar problemas de pudriciones cuando alcanza diámetros a la altura del pecho mayores a 50 cm asociadas al desarrollo de grandes ramas (y su eventual ruptura) y cuando crece en densidades muy altas. Ante esta situación y la posibilidad de conducir los bosques afectados por mal del ciprés como bosques mixtos sería deseable limitar la ocupación del espacio de crecimiento que hace *N. dombeyi* a fin de favorecer la ocupación y el crecimiento de *A. chilensis* y a su vez, generar las condiciones para evitar la pérdida de calidad maderable de *N. dombeyi* debida a pudriciones.

## 6. Conclusiones

Los modelos preliminares desarrollados resultan adecuados para hacer predicciones de área foliar de *A. chilensis* y *N. dombeyi* en bosques puros y mixtos, aunque se planea continuar perfeccionándolos en especial realizando el ajuste mediante análisis Bayesiano para potenciar su capacidad predictiva. Este tipo de estudios lleva implícito un gran esfuerzo de tiempo y económico, y por lo tanto hay relativamente pocas especies de la que se dispone este tipo de ecuaciones. Estos modelos constituyen una herramienta muy potente que puede utilizarse en estudios ecológicos y con fines productivos.

La aplicación de estos modelos muestra que la estructura del rodal condicionaría la relación entre el IAF y el crecimiento en volumen. En las estructuras evaluadas aunque *A. chilensis* puede presentar un mayor IAF no es capaz de compensar la mayor eficiencia del *N. dombeyi*, aportando menor crecimiento en volumen a nivel de rodal. Se continuará analizando la relación entre el IAF y el crecimiento en distintas estructuras de bosque mixto de *A. chilensis* y *N. dombeyi* para seleccionar aquellas que mejor se adecuen según los objetivos de manejo.

## 7. Agradecimientos

Se agradece a los propietarios de la Ea. Cacique Foyel y a miembros de INTA Campo Ftal. General San Martín, en Provincia de Río Negro, Argentina. A Tania Figueroa, Cristian Huisca, Cristian Muñoz, Stefano Gianolini, Julieta Sandoval, Ariel Neri, Carol Gonzalez, Ramiro Gorosito, Julieta Azkenasi y Leticia Pafundi por su participación en los muestreos, y a Tania Figueroa y Julieta Sandoval por su ayuda en el procesamiento de las muestras. A quienes financiaron este proyecto: Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva de la Nación según Acta Acuerdo Interjurisdiccional 12Feb2015 entre el Gobierno Nacional, las Provincias Patagónicas y Miembros Promotores del CIEFAP (P4-A2-013); y UCAR, Programa de Sustentabilidad y Competitividad Forestal (PIA 14067).

## 8. Bibliografía

- AMOROSO, M. M.; LARSON, B.C.; 2010. Stand development patterns as a consequence of the mortality in *Austrocedrus chilensis* forests. *Forest Ecology and Management* 259(10): 1981-1992.
- AMOROSO, M. M.; DANIELS, L. D.; LORI, D.; LARSON, B.C.; 2012. Temporal patterns of radial growth in declining *Austrocedrus chilensis* forests in Northern Patagonia: The use of tree-rings as an indicator of forest decline. *Forest Ecology and Management* 265: 62-70.
- BRAVO-OVIEDO, A.; PRETZSCH, H.; AMMER, C.; ANDENMATTEN, E.; BARBATI, A.; BARREIRO, S.; BRANG, P.; BRAVO, F.; COLL, L.; CORONA, P.; DEN OUDEN, J.; DUCEY, M.J.; FORRESTER, D.I.; GIERGICZNY, M.; JACOBSEN, J.B.; LESINSKI, J.; LÖF, M.; MASON, W.L.; MATOVIC, B.; METSLAID, M.; MORNEAU, F.; MOTIEJUNAITE, J.; O'REILLY, C.; PACH, M.; PONETTE, Q.; DEL RÍO, M.; SHORT, I.; SKOVSGAARD, J.P.; SOLIÑO, M.; SPATHELF, P.; STERBA, H.; STOJANOVIC, D.; STRELCOVA, K.; SVOBODA, M.; VERHEYEN, K.; VON LÜPKE, N.; 2014. European Mixed Forests: definition and research perspectives. *For Syst* 23:518-533.
- DEZZOTTI, A.; 1996. *Austrocedrus chilensis* and *Nothofagus dombeyi* stand development during secondary succession, in northwestern Patagonia, Argentina. *Forest Ecology and Management* 89(1): 125-137.
- GRESLEBIN, A. G.; HANSEN E.M.; 2009. The decline of *Austrocedrus* forests in Patagonia (Mal del Ciprés): another *Phytophthora*-caused forest disease. *Phytophthoras in Forests and Natural Ecosystems*: 64.
- JACTEL, H.; NICOLL, B.C.; BRANCO, M.; GONZALEZ-OLABARRÍA, J.R.; GRODZKI, W.; LANGSTROM, B.; MOREIRA, F.; NETHERER, S.; ORAZIO, C.; PIOU, D.; SANTOS, H.; SCHELHAAS, M.J.; TOJIC Y, K.; VODDE, F.; 2009. The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Ann. For. Sci.* 66 (701): 1-18.
- KOLSTROM, M.; LINDNER, M.; VILEN, T.; MAROSCHEK, M.; SEIDL, R.; LEXER, M.J.; NETHERER, S.; KREMER, A.; DELZON, S.; BARBATI, A.; MARCHETTI, M.; CORONA, P.; 2011. Reviewing the science and implementation of climate change adaptation measures in European forestry. *Forests* 2: 961-982.
- LOGUERCIO, G. A.; 1998. *Erhaltung der Baumart Austrocedrus chilensis (D. Don) et Boutelje durch nachhaltige Nutzung*, Fac. de Cs. Ftales de la Universidad de Munich. Doctor: 212.
- LOGUERCIO G. A.; URRETAVIZCAYA, M.F.; CASELLI, M.; 2016. *Silvicultura de los bosques de ciprés de la cordillera*. Manual N° 15. CIEFAP. ISS 1514-2256.
- LONG, J. N.; SMITH, F.W.; 1984. Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms. *Forest Ecology and Management* 7(3): 191-206.
- LONG, J. N.; SMITH, F.W.; 1988. Leaf Area-Sapwood Area Relations of Lodgepole Pine as Influenced by Stand Density and Site Index. *Canadian Journal of Forest Research* 18(2): 247-250.
- LONG, J. N.; SMITH, F.W.; 1990. Determinants of stemwood production in *Pinus contorta* var. *latifolia* forests: the influence of site quality and stand structure. *Journal of Applied Ecology*: 847-856.
- LONG, J. N.; SMITH, F. W.; SCOTT, D.; 1981. The role of Douglas-fir stem sapwood and heartwood in the mechanical and physiological support of crowns and development of stem form. *Canadian Journal of Forest Research* 11(3): 459-464.



O'HARA, K.; 1996. Dynamics and stocking-level relationships of multi-aged ponderosa pine stands. *Forest science* 42 (Supplement 33).

O'HARA, K. L.; GERSONDE, R. F.; 2004. Stocking control concepts in uneven-aged silviculture. *Forestry* 77(2): 131-143.

O'HARA, K. L.; LÄHDE, E.; LAIHO, O.; NOROKORPI, Y.; SAKSA, T.; 1999. Leaf area and tree increment dynamics on a fertile mixed-conifer site in southern Finland." *Annals of Forest Science* 56: 237-247.

O'HARA, K. L.; LÄHDE, E.; LAIHO, O.; NOROKORPI, Y.; SAKSA, T.; 2001. Leaf area allocation as a guide to stocking control in multi-aged, mixed conifer forests in southern Finland. *Forestry* 74(2): 171-185.

O'HARA, K. L.; VALAPPIL, N.I.; 1995. Sapwood - leaf area prediction equations for multi-aged ponderosa pine stands in western Montana and Central Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1553-1557.

SCHERER-LORENZEN, M.; KORNER, C.; SCHULZE, E.D.; 2010. *Forest Diversity and Function*. Ecological Studies. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K. 424 pp.

SHINOZAKI, K., YODA, K.; HOZUMI, K.; KIRA, T.; 1964a. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory: I. Basic analyses. *日本生態学会誌* 14(3): 97-105.

SHINOZAKI, K., YODA, K.; HOZUMI, K.; KIRA, T.; 1964b. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory: II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *日本生態学会誌* 14(4): 133-139.

SMITH, F. W.; LONG, J.N.; 1992. A comparison of stemwood production in monocultures and mixtures of *Pinus contorta* var *latifolia* and *Abies lasiocarpa*. En: CANNELL, M.G.R.; MALCOLM, D.C.; ROBERTSON, P.A. (Eds.), *The Ecology of Mixed-Species Stands of Trees*, Blackwell Scientific Publications, Londres.

STANCIOIU, P. T.; O'HARA, K.L.; 2005. Sapwood area leaf area relationships for coast redwood. *Canadian Journal of Forest Research* 35(5): 1250-1255.

STANCIOIU, P. T.; O'HARA, K.L.; 2006. Leaf area and growth efficiency of regeneration in mixed species, multiaged forests of the Romanian Carpathians. *Forest Ecology and Management* 222: 55-66.

VEBLEN, T. T.; LORENZ, D. C.; 1987. Post fire stand development of *Austrocedrus* - *Nothofagus* forest in Patagonia. *Vegetatio* 73: 113-126.

WARING, R.; 1983. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. *Adv. Ecol. Res* 13: 327-354.

WARING, R. H.; SCHROEDER, P. E.; OREN, R.; 1982. Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. *Canadian Journal of Forest Research* 12: 556-560.

ZAMORANO, A. M. C.; 2004. Efecto del raleo sobre el area foliar en un renoual de coigue (*Nothofagus dombeyi*)(Mirb) Oerts., reserva nacional Malalcahuello. Tesis de grado Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.