

**EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DE COPA COMO ESTIMADOR DEL  
CRECIMIENTO DE ÁRBOLES JUVENILES DE *Austrocedrus chilensis* (D.Don)Pic.  
*Serm. Et Bizzarri*.**

**ASSESSMENT OF CROWN SIZE AS GROWTH ESTIMATOR IN YOUNG  
*Austrocedrus chilensis* (D.Don)Pic. *Serm. Et Bizzarri* TREES.**

**Federico Jorge Letourneau<sup>1</sup>**

**Ernesto Andenmatten<sup>2</sup>**

**Tomás Schlichter<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>. Ing. Ftal., Becario del Conicet. Campo Forestal San Martín, EEA Bariloche. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [fletourneau@bariloche.inta.gov.ar](mailto:fletourneau@bariloche.inta.gov.ar)

<sup>2</sup>. Ing. Ftal. , Magíster en Ciencias. Campo Forestal San Martín, EEA Bariloche Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [eandenmatten@bariloche.inta.gov.ar](mailto:eandenmatten@bariloche.inta.gov.ar)

<sup>3</sup>. Ing. Agrónomo, Doctor en Ciencias. EEA Bariloche. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [pforestc@bariloche.inta.gov.ar](mailto:pforestc@bariloche.inta.gov.ar)

## **SUMMARY**

We assessed four crown variables as stem growth estimators in young *Austrocedrus chilensis* (D.Don)Pic. *Serm. Et Bizzarri* trees (4 - 30 years old, and 0.05 - 4 meters tall), growing associated to shrubs. The variables were crown length; gross and net crown volume and leaves dry weight. Net crown volume and crown density (dry weight of leaves per unit of net crown volume) were used for the estimation of plant leaves dry weight. Crown density was estimated as a function of plant light environment. This model was fitted using data from 30 potted seedlings, which were acclimated to different light levels along two growing seasons. Crown variables were assessed by means of: the proportion of explained variance of fitted models, and by the mean square error, derived from the fitting procedure. For leaves dry weight we fitted a linear model, while for the other variables we selected a polynomial curve of degree 2. Both models were restricted to pass through the origin coordinates. Results showed that leaves dry weight was the best predictor of growth ( $R^2=0,835$ ), then the net crown volume and gross net volume ( $R^2= 0,817$  y  $0,811$ , respectively), and finally crown length ( $R^2=0,643$ ). The use of leaves dry weight may allow the development of a growth model that incorporate the effect of change in the plant light environment, as plant grows in height.

**Keywords:** crown size, growth, light environment, *Austrocedrus chilensis*, simulation model.

## **RESUMEN**

En este trabajo analizamos el uso de cuatro variables, que describen el tamaño de la copa, como estimadores del crecimiento en volumen del tallo de árboles juveniles de *Austrocedrus chilensis* (D.Don)Pic. *Serm. Et Bizzarri*. Estas plantas (50) crecían asociadas a arbustos, y tenían entre 4 y 30 años de edad, con alturas entre 0,05 a 4,0 metros. El tamaño de la copa se expresó en términos de su longitud, volumen bruto y neto, y el peso seco de hojas contenida por esta. Donde el peso seco de hojas se estimó a través del producto entre el volumen neto y la densidad de hojas

(que es el peso seco de hojas por unidad de volumen neto de copa). Estando esta última, relacionada con el ambiente lumínico de la planta. Esta relación se ajustó ( $R^2=0,62$ ) con datos de 30 plantines en macetas, que fueron aclimatados, durante dos períodos consecutivos de crecimiento, a tres ambientes lumínicos equivalentes a 0,08; 0,40; 1,00 de la fracción total de luz visible. La bondad de predicción de las variables de copa se evaluó a través de la proporción de la varianza explicada y el error medio cuadrático, derivados del ajuste de los modelos que relacionan el incremento en volumen del fuste con el tamaño de la copa.. Para el peso seco empleamos un modelo lineal, mientras que para las restantes variables utilizamos un polinomio de segundo grado, ambos con ordenada cero. Los resultados señalan que el peso seco de hojas sería el mejor estimador del crecimiento ( $R^2=0,835$ ), luego sería el volumen neto y bruto de copa ( $R^2= 0,817$  y  $0,811$  respectivamente) y finalmente la longitud de copa ( $R^2=0,643$ ). La utilización del peso seco de hojas, permitiría simular el efecto que tiene el cambio lumínico tanto en el crecimiento del tallo como en la dinámica de su copa, a medida que las plantas de *A. chilensis* emergen de la canopia de los arbustales.

**Palabras clave:** tamaño de copa, crecimiento, ambiente lumínico, *Austrocedrus chilensis*, modelo de simulación.

## INTRODUCCIÓN

Para la predicción del crecimiento de las plantas, puede emplearse la relación entre la cantidad de tejido fotosintético y la producción de tejido no fotosintético. (Waring, 1983). En este sentido algunos modelos estiman el crecimiento del tallo de un árbol, a través de la cuantificación de su copa (Mitchell, 1975; Vanclay, 1995).

En este trabajo evaluamos el uso de cuatro variables de copa (longitud, volumen neto, volumen bruto y peso seco de hojas) para predecir el incremento en volumen del tallo, de árboles juveniles de *Austrocedrus chilensis* (D.Don) Pic. Serm. Et Bizzarri o Ciprés de la Cordillera, bajo la hipótesis de que el incremento anual del tallo es proporcional a la importancia de su copa. Por otro lado describimos, en forma conceptual, la interrelación de algunas de estas variables, con el objetivo de simular el crecimiento de *A. chilensis*.

Las plantas aquí estudiadas se establecen bajo la cobertura de los arbustos, dado el efecto de facilitación que tienen estos, sobre la germinación y supervivencia temprana de *A. chilensis* (Kitzberger *et al*, 2000). Posteriormente, crecen bajo la sombra de los arbustos durante un lapso variable de tiempo, hasta emerger de entre la vegetación.

Durante este proceso, los arbustos ejercen distintos clases de efectos sobre las plantas, lo que tiene consecuencias sobre su crecimiento y morfología. Por ejemplo, la reducción de los niveles lumínicos, por intercepción del follaje y tallos de los arbustos, dan lugar a un proceso de aclimatación a la sombra. En algunas especies de coníferas, que crecen en los bosques del Noroeste de los Estados Unidos, se han reportado cambios en el área foliar específica (Bond *et al.*, 1999) en relación al ambiente lumínico, hecho que fue comprobado experimentalmente para *A. chilensis* (Letourneau *et al*, inédito).

Por otra parte el ambiente lumínico también puede modificar la tasa máxima de fotosíntesis (Lambers *et al.*, 1998), o la asignación de materia seca entre tejido aéreo y subterráneo (Letourneau *et al*, inédito). También puede afectar la producción de ramas de la planta (Kozłowski y Pallardy, 1997), con consecuencias sobre la densidad de hojas de la copa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la evaluación de las cuatro dimensiones de copa, empleamos 50 plantas, en estado natural, correspondientes a distintas relaciones de importancia relativa entre *A. chilensis* y arbustos. En cada planta se estableció la dimensión de su copa, el ambiente lumínico y el incremento anual en volumen de su tallo. Donde el ambiente lumínico es un indicador de la importancia relativa entre *A. chilensis* y los arbustos.

Las plantas fueron seleccionadas dentro de un área aproximada de nueve hectáreas, con condiciones de vegetación y suelo homogéneas. Este sitio se encuentra en el Campo Forestal San Martín, EEA INTA Bariloche (42°00'S; 71° 30'O), en proximidades de la ciudad de El Bolsón, Pcia. de Río Negro.

Los arbustales presentaron una altura de entre 1 y 4 metros, mientras que las plantas de *A. chilensis* tenían entre 1 a 50 mm de diámetro basal y de 0,05 a 4,0 metros de altura. En estos árboles se midió el diámetro basal, altura del ápice al inicio y fin de una temporada de crecimiento. También se midió la altura de la base de la copa, la longitud total y sin hojas de una rama promedio ubicada en la base de esta (Figura 1).

Para describir el ambiente lumínico de cada planta se utilizó la fracción de luz fotosintéticamente activa, que es el cociente entre: la luz fotosintéticamente activa (LFA) medida en el ápice de cuatro ramas (N-S-E-O) ubicada a la mitad de la copa (Figura 1) y la luz medida a pleno sol por encima del dosel de los arbustos. La LFA se determinó utilizando el sistema de análisis de canopia SunScan (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK).

El incremento en volumen del tallo de Ciprés se calculó como la diferencia entre dos volúmenes de cono, definidos por el diámetro basal y la altura total al inicio y fin del período de crecimiento (Septiembre-Mayo).

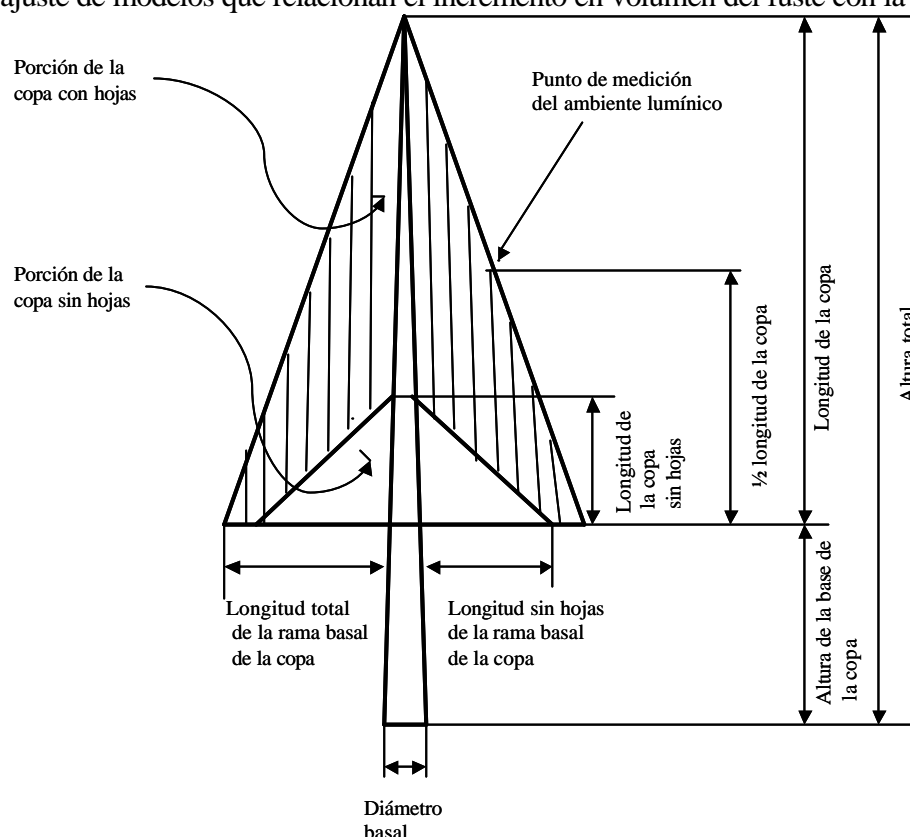
En relación con las variables de copa empleadas, la longitud de copa se definió como aquella longitud comprendida entre la base de esta y el ápice de la planta (Figura 1), donde la base de la copa se definió como aquel punto sobre el tallo donde se observan al menos tres ramas vivas.

Por otro lado, para el cálculo del volumen de copa se asumió una forma cónica de la misma. Esta se representó a través de la superposición de dos volúmenes de cono, uno definido por la longitud de las ramas y el otro por aquella porción interior de la copa, que no contiene hojas (Figura 1). El volumen definido por las ramas se calculó a partir de la longitud de la copa y la longitud total de una rama promedio, ubicada en la base de esta. Mientras que el cono interior se calculó de aquellas porciones de la longitud de la copa y de la rama basal que no presentaban hojas sobre los tallos (Figura 1).

Al volumen definido por la longitud total de la rama se lo denominó volumen bruto. Mientras que a la diferencia entre el volumen bruto y el volumen de la porción sin hojas se lo nombró como volumen neto. Este último representa el volumen de la copa que en su interior contiene hojas.

El peso seco de hojas se calculó como el producto entre el volumen neto y la densidad de la copa. Esta última se definió como el peso seco de hojas por unidad de volumen neto, y es función del ambiente lumínico de la planta. Para establecer esta relación se procedió al análisis destructivo de 30 plantines de *A. chilensis* en macetas. Estos fueron previamente aclimatados, durante dos períodos de crecimiento, a distintos niveles de luz (0.08, 0.4 y 1 de fracción de LFA), logrados a través de media sombras artificiales. En cada uno de los plantines se determinó el volumen neto de su copa y el peso seco de hojas contenido en dicho volumen. Esta relación se utilizó para realizar una estimación de la densidad de copa de cada una de las 50 plantas, de acuerdo a su propio ambiente lumínico.

La bondad de las variables de copa para predecir el crecimiento, se evaluó a través de la proporción de la varianza explicada y el error medio cuadrático. Estos fueron generados mediante el ajuste de modelos que relacionan el incremento en volumen del fuste con la importancia de la copa.



**Figura 1. Vista lateral de una planta, donde se representa tanto el volumen del fuste y el volumen bruto y sin hojas de la copa, empleando para ello volúmenes de cono. Se indican también las mediciones realizadas sobre cada planta de Ciprés de la Cordillera.**

**Figure 1.** Plant lateral view, showing stem volume, gross crown volume and crown volume without leaves. Latter were calculated assuming a cone shaped crown. Others measurements on plant are showed.

Para esto se procedió al ajuste de un modelo lineal para el peso seco de hojas, y de un polinomio de segundo grado para el volumen neto, volumen bruto y longitud de copa respectivamente. Los modelos fueron ajustados con ordenada cero, para brindar consistencia en la estimación del crecimiento cuando la dimensión de sus copas es cero.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad de hojas de la copa se relacionó con el ambiente lumínico de la planta a través de la función:

$$\text{densidad\_de\_hojas}\left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right] = 0,0002 \times e^{1.826 \times \text{fracción\_de\_LFA}} \text{ con un valor de } R^2 = 0,62.$$

Donde:

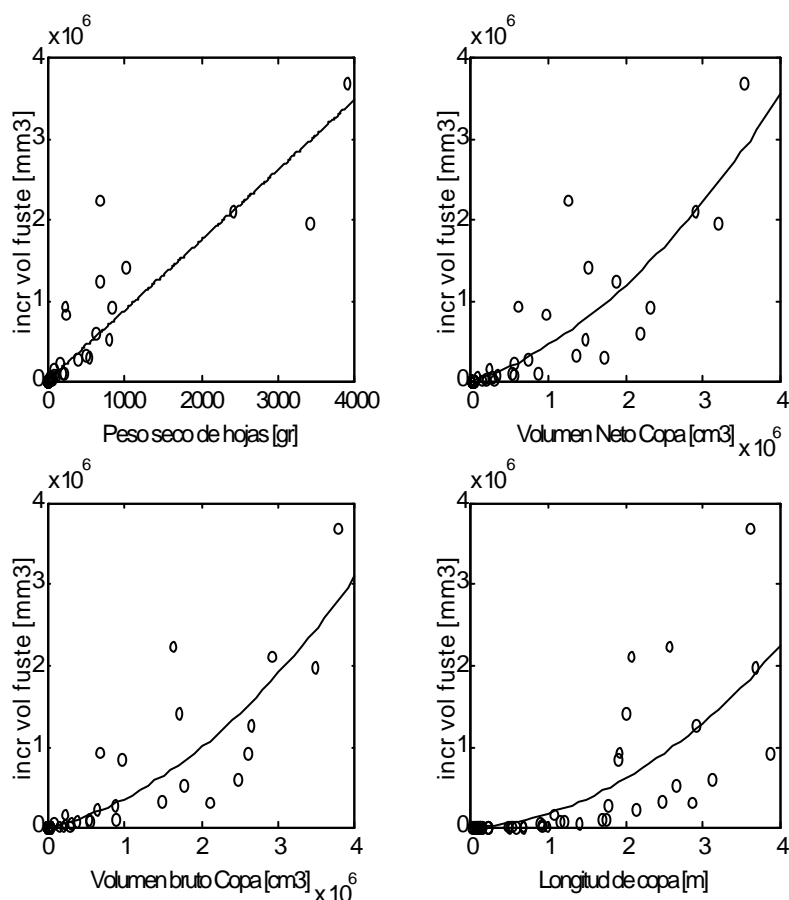
Densidad de hojas es el peso seco (gr) por unidad de volumen neto de copa (cm<sup>3</sup>) y, fracción de LFA: es la fracción de luz fotosintéticamente activa determinada a la mitad de la longitud de la copa.

Por otro parte, del análisis realizado surge que, la proporción de la varianza explicada por los modelos aumenta a medida que se emplea mayor información para describir la dimensión de la copa. En este sentido el volumen bruto de la copa explica en gran medida la varianza de los datos ( $R^2= 0,811$ , Tabla 1). Sin embargo el descuento por el volumen sin hojas y la ponderación por la densidad de hojas de la copa, incrementan levemente la varianza explicada por el modelo ( $R^2=0,817$  para el volumen neto y  $R^2=0,835$  para el peso seco de hojas, Figura 2, Tabla 1).

**Tabla 1. Proporción de la varianza explicada y error medio cuadrático de los modelos ajustados al peso seco de hojas, el volumen neto y bruto de copa y la longitud de copa.**

**Table 1.** Proportion of explained variance and mean square error derived from the fitting procedure of leaves dry weight, net and gross crown volume, and crown length.

Dimensión de la copa	$R^2$	Error medio cuadrático de la estimación del incremento en volumen del tallo.
Peso de hojas	0,835 modelo lineal	3,35 E <sup>+05</sup>
Volumen neto	0,817 polinomio	3,52 E <sup>+05</sup>
Volumen bruto	0,811 polinomio	3,59 E <sup>+05</sup>
Longitud de copa	0,643 polinomio	4,93 E <sup>+05</sup>



**Figura 2. Valores observados y estimados del incremento en volumen del fuste en función de: el peso seco de hojas, el volumen bruto y neto, y la longitud de copa, para árboles juveniles de Ciprés de la Cordillera. Para el peso seco de hojas se ajustó un modelo lineal, mientras que para los restantes se utilizó un polinomio de segundo grado. En todos los casos los modelos fueron restringidos a pasar por el origen.**

**Figure 2.** Observed and predicted values of stem volume growth, in relation to leaves dry weight, gross and net crown volume and crown length, for young *A. chilensis* trees. For leaves dry weight we fitted a linear model, while for the others we fitted a polynomial of degree 2. Both models were restricted to pass through the origin coordinates.

En este trabajo asumimos que la copa puede representarse como un cono, aunque estudios actualmente en desarrollo en *A. chilensis*, nos indican que esta podría ser descripta con mayor precisión si se adopta el volumen de un paraboloide. Al respecto Baldwin y Peterson (1997) describieron la forma de la copa de la conífera *Pinus taeda* L., mediante un perfil, representado a través de un polinomio, y el interior no foliado a través de una recta. Mientras que Doruska y Mays (1998), para la misma especie, emplearon modelos cuadráticos para describir ambas partes de la copa.

Aquí, la utilización del volumen de cono para representar a la copa, podría dar lugar a la subestimación tanto de su volumen como del peso de hojas. Sin embargo, esto no modificaría el estudio comparativo entre estas variables, como estimadores del crecimiento. Por otro lado el empleo de la relación densidad de copa-ambiente lumínico desarrollada con plantines, podría derivar también en una subestimación del peso seco de hojas de plantas grandes que crecen a pleno sol. Con consecuencias en la forma del modelo utilizado para representar la relación peso de hojas-incremento del fuste.

Por otra parte, la elección del peso seco de hojas como estimador del crecimiento permitiría el desarrollo de un modelo de simulación de árbol individual. Que incorpore el efecto que tiene la condición lumínica de la planta tanto sobre la dinámica del tallo como de la copa de *A. chilensis*.

Por ejemplo, el perfil de luz de la vegetación, que se determina en el sitio donde se encuentra cada planta, es una curva que describe la fracción de luz fotosintéticamente activa a distintas alturas desde el suelo. Esta última, sumada al conocimiento de la altura de la base de la copa y de la altura del ápice, permite calcular el ambiente lumínico de la planta para cada instante de la simulación. Bajo el supuesto de que el perfil de luz se mantiene invariable durante este lapso de tiempo. Por otro lado, el incremento anual en altura puede estar influenciado por el ambiente lumínico del ápice (King, 1997, Drever y Lertzman, 2001).

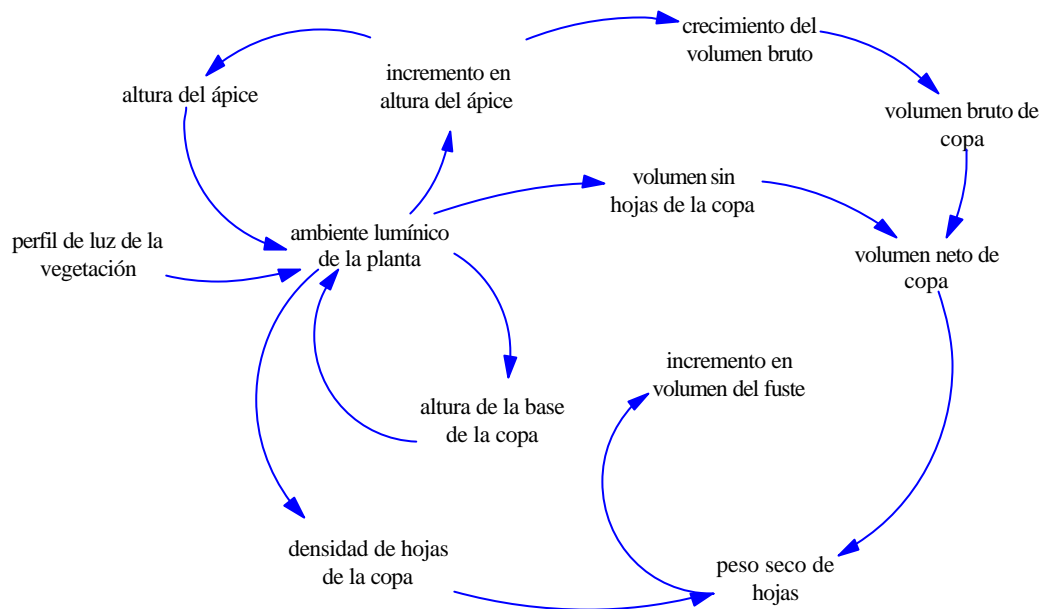
Estas interrelaciones entre el crecimiento de *A. chilensis* y el ambiente lumínico pueden utilizarse para la generación de un modelo simulación, tanto matemático como por computadora, a través de los conceptos expresados por la dinámica de sistemas (Figura 3).

## CONCLUSIONES

Desde un punto de eficiencia de uso de estas variables, el volumen bruto y neto podrían incorporarse a un modelo de crecimiento, con resultados satisfactorios. Sin embargo la utilización del peso seco de hojas permitiría representar tanto el crecimiento del tallo como la dinámica de la copa, en el proceso de emergencia de *A. chilensis* de entre los arbustos.

Por otra parte dado el efecto que tiene el ambiente lumínico sobre la morfología de las hojas de esta especie (Letourneau et al, inédito), puede emplearse a esta última como un simple y operativo estimador de la luz, de fácil incorporación en actividades silviculturales.

Finalmente, recomendamos emplear un relación de densidad de hojas de la copa - ambiente lumínico que incorpore plantas de mayor tamaño a las aquí utilizadas. Y también, describir con mayor detalle la forma de la copa a través de una función que describa su perfil.



**Figura 3. Diagrama de causa circular, que muestra la interdependencia entre el crecimiento del tallo, tamaño de la copa y el ambiente lumínico de árboles juveniles de *A. chilensis*, que crecen asociados a arbustos..**

**Figure 3.** Causal loop diagram, showing the interdependency between stem growth, cown size and light environment in young *A.chilensis* trees, growing associated to shrubs.

## AGRADECIMIENTOS

A Nicolás De Agostini, por su asistencia en el campo. Este trabajo fue realizado con el aporte del CONICET a través de una beca de postgrado, de la Asociación Cooperadora INTA Bariloche, y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Este estudio se realizó en el marco de la Tesis: “El Ciprés de la Cordillera y las especies arbustivas durante la etapa de crecimiento inicial: Estudio de las interacciones positivas y negativas sobre su crecimiento”, para optar al grado de Dr. en Ciencias Biológicas, otorgado por la Universidad Nacional del Comahue, CRUB.

## BIBLIOGRAFÍA

BALWIN V.C Jr., Peterson K. 1997. Predicting the crown shape of loblolly pine trees. Can.J.For.Res.27:102-107.

- BOND, B.J., Farnsworth, B.T., Coulombe, R.A., Winner, W.E., 1999. Foliage physiology and biochemistry in response to light gradients in conifers with varying shade tolerance. *Oecologia*, 120, 183-192.
- DORUSKA, P.F., Mays J.E. 1998. Crown profile modeling of Loblolly pine by nonparametric Regression Analysis. *Forest Science* 44(3). Pp 445-453.
- DREVER, C.R. Lertzman K.P. 2001. Light growth responses of Coastal Douglas-fir and Western red cedar saplings under different regimes of soil moisture and nutrients. *Can.J.For.Res.* 31: 2124-2133.
- KING, D., 1997. Branch growth and biomass allocation in *Abies amabilis* saplings in contrasting light environments. *Tree Physiology* 17, 251-258.
- KITZBERGER, T., Steinaker, D.F., Veblen, T.T. 2000. Effect of climatic variability on facilitation of tree establishment in northern Patagonia. *Ecology*, 81(7), 1914-1924.
- KOZLOWSKI, T.T. Pallardy, S.G. 1997. *Growth Control in Woody Plants*. Academic Press, pp 641.
- LAMBERS, H., Stuart Chapin III, F, Pons, T.L. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Ed. Springer-Verlag New York Inc. pp540.
- LETOURNEAU, F.J., Andenmatten E., Schlichter T. Effect of climatic conditions and tree size on *Austrocedrus chilensis*-shrubs interactions in Northern Patagonia. Enviado para su evaluación a *Forest Ecology and Management*.
- MITCHELL K.J. Dynamics and simulated Yield of Douglas-Fir. *Forest Science Monograph* 17. Supplement to *Forest Science*, Vol 24, No. 4.
- VANCLAY J. K. 1994, *Modelling Forest Growth and Yield. Applications to mixed tropical Forests*. CAB International. UK. pp 311.
- WARING., R.H. 1983. Estimating Forest Growth and Efficiency in Relation to Canopy Leaf Area. *Advances in Ecological Res.* Vol 13, pp 328-354.