

## Biomasa y productividad aérea de bosques de *Austrocedrus chilensis* en Río Negro, Argentina

J. J. FERRANDO, J. F. GOYA, M. D. BARRERA, P. F. YAPURA & J. L. FRANGI

LISEA. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. CC 31. 1900 La Plata, Argentina  
E-mail: lisea@ceres.agro.unlp.edu.ar - E-mail: jgoya@ceres.agro.unlp.edu.ar

FERRANDO, J. J., J. F. GOYA, M. D. BARRERA, P. F. YAPURA & J. L. FRANGI. 2000/2001. Biomasa y productividad aérea de bosques de *Austrocedrus chilensis* en Río Negro, Argentina. Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 139-149.

El objetivo de este trabajo fue determinar la biomasa y la productividad de un bosque puro de *Austrocedrus chilensis* y analizar los efectos de las diferencias estructurales sobre el rendimiento de productos comerciales. Los rodales estudiados son bosques secundarios ubicados en la Reserva Forestal Loma del Medio-Río Azul en la localidad de El Bolsón. Se seleccionaron tres rodales (R1, R2 y R3) representativos de situaciones que estructuralmente conforman estadios maduros y completamente poblados, pero con diferencias estructurales. En cada rodal se instalaron tres parcelas circulares con superficies entre 500 y 1000 m<sup>2</sup>. Se analizó la distribución de frecuencias por clases de tamaño. La biomasa se determinó mediante técnicas de análisis dimensional y la productividad fue estimada mediante la suma de la caída anual y los incrementos corrientes de la biomasa aérea. Los tres rodales no presentaron diferencias significativas en la biomasa total ni en sus componentes, pero sí resultaron diferentes en términos de la densidad y sus distribuciones de tamaño. Las diferencias estructurales en densidad, diámetro cuadrático medio y altura dominante no se reflejaron en notorias diferencias de productividad (7,2, 5,9 y 6,8 Mg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> para R1, R2 y R3 respectivamente). Sin embargo, se detectaron diferencias significativas en el rendimiento de productos maderables, cuya valorización se basa en las características dimensionales, con 80% y 38 % menos volumen de estos productos en los rodales R1 y R2 que en R3.

**Palabras clave:** Estructura, análisis dimensional, crecimiento, ciprés de la cordillera.

FERRANDO, J. J., J. F. GOYA, M. D. BARRERA, P. F. YAPURA & J. L. FRANGI. 2000/2001. Biomass and aerial productivity of *Austrocedrus chilensis* forests in Río Negro, Argentina. Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 139-149.

The aim of this study was the determination of biomass and aboveground productivity in a monospecific forest of *Austrocedrus chilensis*, and to assess the effects of structural differences on merchantable products yield. Three stands of secondary forests (R1, R2, and R3) were studied in the Reserva Forestal Loma del Medio-Río Azul, in the vicinity of El Bolsón, Río Negro Province. The stands were full stocked mature forests showing differences in structure. Three-500 to 1000 m<sup>2</sup> circular plots were located in each stand. Size-class frequency distribution was analysed. Biomass was assessed by dimensional analysis, and productivity was estimated as the sum of litterfall and the biomass current annual increment. The three stands did not showed significant differences in total or plant compartments biomass, but they differed in density and size frequency distribution. The structural differences on density, mean quadratic diameter and dominant height were not expressed in noticeable productivity differences (7.2, 5.9 and 6.8 Mg.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> for R1, R2 and R3 respectively). However, there were significant differences in merchantable wood products yield, whose value is dependent in size, with 80% and 38% less product volume in R1 and R2 than in R3.

**Key words:** Dimensional analysis, structure, growth, ciprés de la cordillera.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Florin et Boutleje) "ciprés de la cordillera" se ubican en las regiones bajas de la cordillera andina, formando una estrecha franja discontinua que se extiende entre los 36° 30' S en la provincia del Neuquén y los 43° 35' S en la provincia de Chubut (Cabrera, 1971; Hueck, 1978; Seibert, 1982). Pertenecen a la Ecoregión de los Bosques húmedos con lluvias invernales (Dinerstein et al., 1995). Dez-zotti & Sancholuz (1991), describen tres tipos forestales de ciprés que se extienden en sentido E-O: (1) bosques marginales en el límite con la estepa, (2) bosques compactos o puros y, (3) formaciones mixtas con «coihue» (*Nothofagus dombeyi*). Estos bosques se distribuyen en un gradiente de precipitación entre los 330 y 2700 mm (Pastorino & Gallo, 1998). En Argentina, es la conífera nativa de mayor rango de distribución natural y uno de los recursos económicos más importantes de la región de los bosques Andino-patagónicos. En la provincia de Río Negro, principal productor de madera de ciprés, se registró una producción anual de 13.000 m<sup>3</sup> entre 1990 y 1995 (Servicio Forestal Andino, 1997).

La región norpatagónica posee una larga historia de variación climática que ha modificado la distribución geográfica de los bosques de ciprés y ayuda a explicar el estado actual de las masas (Villalba & Veblen 1998). Asimismo, el régimen de incendios ha variado en vinculación a variaciones climáticas y cambios provocados por la ocupación humana aborígen y de origen europeo, en especial durante los siglos XIX y XX (Veblen & Margraf 1988).

Una de las características observables de los bosques compactos de ciprés es que, bajo condiciones ambientales similares, pueden presentar rodales con diferencias estructurales que no necesariamente están relacionadas con diferencias notorias de edad. Los incendios constituyen uno de los factores que

han provocado el posterior establecimiento de cohortes arbóreas aproximadamente coetáneas que han constituido rodales de distinta densidad, lo que sugiere diferencias en los procesos de recolonización post-fuego (Veblen et al., 1995). Como consecuencia de las similares condiciones productivas de los sitios, la pertenencia a una misma clase de edad de los rodales, y la condición de bosque compacto, cabría de encontrar una biomasa relativamente semejante. No obstante, la proporción de la biomasa en sus diferentes compartimientos aéreos puede variar como expresión ligada a otras diferencias estructurales. Si bien es de esperar que, al momento de alcanzar el fin de la etapa de establecimiento y al comienzo del autorraleo, la biomasa por unidad de área será máxima (Peet & Christensen, 1987), la distribución de la biomasa en los árboles individuales dependerá de la densidad de cada rodal. Estas diferencias pueden dar lugar a que cada rodal presente distinta capacidad de satisfacer la demanda de productos o servicios del bosque. Si el objetivo de manejo es obtener madera para aserrar, el reconocimiento de las consecuencias productivas de distintas estructuras del bosque facilita la toma de decisiones sobre las intervenciones silvícolas adecuadas para conducir, dentro de ciertos límites, a optimizar en términos de rendimiento maderero la productividad de un rodal.

Por otra parte, la producción de materia seca de fustes depende esencialmente de la producción del follaje, lo cual se relaciona directamente con el área foliar y su expresión como índice de área foliar. El área foliar es dependiente de la edad, del sitio y la densidad (Jarvis & Leverenz, 1983).

El objetivo del presente trabajo es analizar el efecto de las diferencias estructurales sobre el rendimiento comercial en rodales coetáneos de ciprés de la cordillera creciendo en similares condiciones de sitio. La hipótesis planteada es que las diferencias de estructura en bosques completamente poblados

coetáneos, en sitios similares, no implican cambios en la biomasa aérea y en la productividad pero sí en su rendimiento y, consecuentemente, en la cantidad de producto comercial disponible en un bosque maduro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Area de estudio.** Se estudió un bosque compacto de ciprés ubicado en la reserva forestal Loma del Medio (41° 46' S 71° 33' W), El Bolsón, Río Negro. Los rodales analizados constituyen bosques secundarios desarrollados luego de la quema y desmonte con objetivos agrícolas a fines del siglo XIX (Willis, 1914).

El clima se caracteriza por una temperatura media anual de 9,3 °C y una precipitación media de 904 mm con un régimen mediterráneo (Servicio Meteorológico Nacional, 1981). Según Holdridge (1978) corresponde a la zona de vida bosque húmedo templado frío. El balance hídrico según Thornthwaite muestra 445 mm de exceso de agua invernal (mayo-septiembre) y una deficiencia de 156 mm durante la temporada de crecimiento (diciembre-marzo) (Goya *et al.*, 1995).

Los suelos del área corresponden al orden Udivitrands (Buamscha *et al.*, 1998), desarrollados sobre depósitos de cenizas volcánicas holocénicas. Los estudios de suelos realizados mostraron perfiles de tipo A-AC-C, con

buena profundidad efectiva, bien drenados, y presencia de alófanos o imogolita.

**Estructura del estrato arbóreo.** Se seleccionaron 3 rodales correspondientes a tres estructuras que *a priori* presentaban diferencias en su distribución diamétrica y correspondían a un estadio maduro y completamente pobladas. En cada rodal se instalaron 3 parcelas circulares entre 500-1000 m<sup>2</sup>. Para todo individuo >5 cm DAP (diámetro a la altura del pecho, 1,30 m) se registraron la especie y el DAP (cm); también, se le asignó la posición sociológica (dominante, codominante, intermedio u oprimido) según el criterio de Spurr & Barnes (1980). La altura total (H, en m) de cada árbol se estimó mediante la función hipsométrica  $H = \exp(a+b \cdot \text{DAP})$ , con parámetros para cada rodal (R): R1: a= 2,154, b= 0,026294; R2: a= 2,288, b= 0,022032; R3: a= 2,658, b= 0,012050 (Ferrando, 1997). La altura dominante fue determinada con los individuos de mayor DAP de acuerdo a Assman (1970). La estructura diamétrica de las parcelas fue analizada a partir de la distribución de frecuencias de clases de tamaños (Stewart, 1986).

El volumen total y maderable, se determinó mediante la aplicación de funciones de regresión obtenidas por Chauchard *et al.*, (1991).

Para el cálculo del peso de los individuos

**Tabla 1:** Parámetros y estadísticos de las ecuaciones de regresión para la determinación del peso seco de diferentes compartimientos de *Austrocedrus chilensis* en El Bolsón. Ecuación:  $\ln Y = a + b \cdot \ln X$ , donde: Y = peso seco del compartimiento (kg) y  $X = \text{DAP}^2H$ , DAP (cm) y H : altura (m). E= error relativo.

Parameters and statistics for estimating compartment dry weight of *Austrocedrus chilensis* in El Bolsón. Equation:  $\ln Y = a + b \cdot \ln X$ , were: Y = compartment dry weight (kg) and  $X = \text{DBH}^2H$ , DBH (cm) and H : height (m). E= relative error.

| Compartimento | A     | b     | r <sup>2</sup> | E % | P     |
|---------------|-------|-------|----------------|-----|-------|
| Total         | 5,229 | 0,785 | 0,99           | 15  | <0,01 |
| Fuste         | 4,954 | 0,929 | 0,99           | 12  | <0,01 |
| Hojas         | 2,743 | 0,798 | 0,91           | 51  | <0,01 |
| Ramas <5 cm   | 3,276 | 0,788 | 0,85           | 52  | <0,01 |

arbóreos se aplicó el análisis dimensional (Whittaker & Woodwell, 1968). En diciembre de 1995, se apearon 21 individuos de las clases diamétricas existentes en los rodales. A cada uno se lo separó en: (a) fuste hasta 5 cm de diámetro; (b) ramas >5 cm; (c) ramas 1-5 cm; (d) ramas <1 cm, (e) hojas más ramitas fotosintéticamente activas y (f) frutos. Se estimó el peso seco, mediante alícuotas pesadas frescas, y secadas a 70 °C hasta peso constante. Mediante técnicas de regresión lineal simple se establecieron relaciones alométricas entre el peso seco de cada compartimento y el total vs. DAP, DAP<sup>2</sup>, altura o alguna combinación de ellas y transformación logarítmica (Crow, 1988). Se eligieron las ecuaciones con altos valores de R<sup>2</sup> y niveles altamente significativos (Tabla 1). La biomasa total y de cada compartimento para cada parcela, se obtuvieron sumando los pesos de los individuos en ella, obtenidos aplicando las ecuaciones de regresión.

*Índice de Área Foliar (IAF).* El IAF de cada parcela se obtuvo a través de la estimación del área foliar específica media (AFE). Para estimar la superficie fotosintética se midió el área de pequeños tallos recubiertos de hojas, a los cuales se consideró unidades fotosintéticas. El empleo de unidades fotosintéticas se justifica en un intento de superar las dificultades de medición y reducir los errores de estimación del área foliar que surgen de emplear pequeñas hojas escumiformes sésiles aisladas cuando habitualmente están dispuestas imbricadas en dichos tallos. El área fotosintética de 16 grupos de 50 a 100 unidades fotosintéticas, seleccionadas de las posiciones superior, media e inferior de la copa de 16 individuos apeados, se midió con un planímetro óptico Li-Cor 3100, y se secaron a 70 °C a peso constante. El valor del área fotosintética medido se multiplicó por 2 para obtener el área foliar fotosintética, debido a que el planímetro sólo mide el área definida por la proyección de una mitad de la unidad fotosin-

tética, esto es la correspondiente a una mitad del número de hojas que rodean el tallo. El IAF de cada rodal se calculó según:  $IAF = \text{biomasa de hojas (kg.m}^{-2}) \times AFE \text{ (m}^2.\text{kg}^{-1})$ .

*Edad y Crecimiento.* La edad y los crecimientos se estimaron mediante la medición de anillos de formación anual. En cada rodal se muestrearon 15 árboles con barrenos de Pressler a la altura del pecho (1,30 m) y a la base (30 cm sobre el suelo). Muestras acondicionadas de acuerdo con Stokes & Smiley (1968), fueron fechadas y los anillos medidos con lupa binocular sobre una tableta Velmex UniSlide conectada a un contador digital AcuRite III con una precisión de 0,01 mm. Su correcto fechado y medición se verificó mediante el programa COFECHA (Holmes, 1983). Las edades fueron estimadas con las muestras a la base. En las muestras sin médula, se estimó la cantidad de anillos faltantes según la metodología propuesta por Duncan (1989). Con estos datos se realizaron los cálculos de crecimiento, v.g. Incremento Medio Anual (IMA), Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Periódico (IP) de los últimos 10 años (Klepac, 1976). El crecimiento a nivel de rodal se estimó utilizando la metodología de Proyección de Tabla de Rodal (Husch *et al.*, 1982).

*Caída de detritos.* La caída de detritos finos se estimó mediante su colecta mensual en 10 canastos de 0,5 m<sup>2</sup> cada uno por rodal, durante trece meses (1995-1996). Cada muestra fue separada en hojas y ramas del año, ramas < 1cm de diámetro, frutos, semillas y corteza. La caída de detritos gruesos (ramas > 1 cm) se estimó mediante la colecta semestral en 5- 4 m<sup>2</sup> parcelas por rodal. Todo el material recolectado fue secado en estufa a 70 °C hasta peso constante con 0,01 g de precisión.

La necromasa de detritos gruesos leñosos (> 1cm de diámetro) se colectó en 10 cuadros de 1 m<sup>2</sup> por rodal. La masa de detritos finos se evaluó estacionalmente en cuatro

oportunidades en 10 parcelas circulares de 0,25 m<sup>2</sup> por rodal.

**Productividad Primaria Aérea Neta (PPAN).** La PPAN fue calculada como la suma del incremento corriente anual (ICA) más la caída de detritos finos y gruesos. El tiempo de recambio de la biomasa aérea se obtuvo mediante el cociente biomasa/ productividad (Whittaker & Marks, 1975).

**Análisis estadístico.** Los promedios de los distintos parámetros de los rodales fueron comparados mediante análisis de varianza de un solo factor, y prueba de Tukey  $P = 95\%$  (Sokal & Rohlf, 1979).

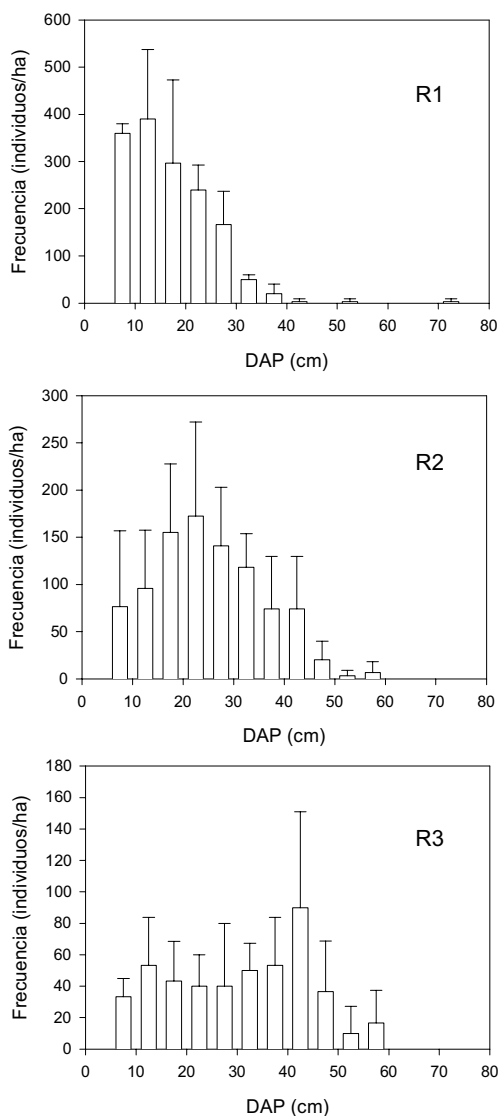
## RESULTADOS

**Parámetros estructurales.** Todos los rodales (R1, R2 y R3) están compuestos por bosques puros de ciprés (área basal de ciprés mayor a 89% del total). Los tres rodales mostraron diferencias estructurales en la densidad (ind.ha<sup>-1</sup>) (Tukey  $P > 0,1$ ) pero no en lo referente al área basal (ANOVA,  $P = 0,63$ ) (Tabla 2). Las distribuciones de árboles por clases de tamaño fueron claramente distintas mostrando un desplazamiento de la moda entre 12,5 cm (R1), 22,5 cm (R2) y 42,5 cm (R3) (Figura 1). El desplazamiento de la moda se registra también en las diferencias en el diámetro cuadrático medio (ANOVA,  $P > 0,05$ ) (Tabla 2). Estas distribuciones en forma de campana caracterizan poblaciones coetáneas.

Las alturas dominantes fueron significativamente diferentes entre los tres rodales (ANOVA,  $F(2,22)=36,08$ ;  $P < 0,05$ ).

El área foliar específica (AFE) arrojó un valor promedio de 3,54 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup> (es= 1,65; n= 16). No se encontraron diferencias significativas en el IAF entre los 3 rodales (ANOVA;  $F(2,22)= 0,57$ ;  $P > 0,05$ ) (Tabla 2).

El volumen de madera total (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) no difirió significativamente (ANOVA,  $P = 0,38$ )



**Figura 1:** Distribuciones diamétricas promedio de los diferentes rodales de *Austrocedrus chilensis* en El Bolsón.

Mean diametric distribution of different stands of *Austrocedrus chilensis* in El Bolsón.

entre rodales; aunque si hubo diferencias en el volumen maderable entre el R1 respecto del R2 y R3 ( $P < 0,05$ ) (Tabla 2).

La biomasa total y la de los distintos com-

**Tabla 2:** Parámetros estructurales y funcionales de los tres rodales estudiados de *Austrocedrus chilensis* en El Bolsón. Los valores medios seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Test de Tukey  $P < 0,05$ ).

Structural and functional parameters of three studied stands of *Austrocedrus chilensis* in El Bolsón. Means followed by the same letter are not significantly different (Tukey test  $P < 0.05$ ).

| Atributo   | Rodal     |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|
|  | R         | R2        | R3        |
| <i>Estructura</i>  |           |           |           |
| Edad (años)  | 69 ± 4,6a | 99 ± 7,3b | 78 ± 9,5a |
| Densidad (ind.ha <sup>-1</sup> )                                   | 1533,0a   | 863,0b    | 467,0c    |
| Area basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )                     | 41,0a     | 47,0a     | 44,1a     |
| Diámetro Cuadrático Medio (cm)                                     | 18,6a     | 26,3b     | 34,6c     |
| Altura Dominante (m)   | 18,2a     | 22,9b     | 27,5c     |
| Índice de Area Foliar (IAF)  | 9,4a      | 11,2a     | 10,5a     |
| Volumen (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )                        |           |           |           |
| Total  | 302,3a    | 372,7a    | 376,3a    |
| Maderable  | 54,1a     | 169,5b    | 275,0b    |
| Biomasa (Mg.ha <sup>-1</sup> )                                     |           |           |           |
| Hojas  | 13,3a     | 15,8a     | 14,8a     |
| Ramas  | 22,7a     | 26,7a     | 24,9a     |
| Fuste  | 120,8a    | 156,2a    | 160,1a    |
| Total  | 156,8a    | 198,7a    | 199,8a    |
| Arbol promedio (kg.ind <sup>-1</sup> )                             |           |           |           |
| Fuste  | 81,5a     | 179,9b    | 341,9c    |
| Ramas  | 14,8a     | 30,9b     | 53,3c     |
| Tiempo para alcanzar 1,3 m (años)                                  |           |           |           |
| En cada rodal  | 6,1a      | 4,1a      | 4,6a      |
| <i>Funciones</i>   |           |           |           |
| Incremento Corriente Anual (ICA)                                   |           |           |           |
| Volumen (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )     |           |           |           |
| Total  | 6,0a      | 5,2a      | 5,6a      |
| Maderable  | 3,0a      | 4,4ab     | 5,0b      |
| Biomasa (Mg.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )                  |           |           |           |
| Total  | 2,8a      | 2,1a      | 2,1a      |
| Fustes   | 2,4a      | 2,1a      | 2,3a      |
| Piso forestal  |           |           |           |
| Caída (Mg.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )                    |           |           |           |
| Detritos finos   | 3,9a      | 3,4a      | 4,6a      |
| Foliar   | 3,1a      | 2,8a      | 4,0b      |
| Detritos gruesos   | 0,52a     | 0,42a     | 0,12b     |
| Tiempo de recambio (años)  | 4,2a      | 5,6a      | 3,7a      |
| Productividad Aérea Neta (Mg.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> ) | 7,2a      | 5,9b      | 6,8a      |
| Biomasa/PPAN (años)  | 22a       | 33b       | 29b       |

partimientos no presentaron diferencias significativas entre los rodales (ANOVA,  $P > 0,05$ ) (Tabla 2). La biomasa foliar varió entre 13,3 y 15,8  $Mg \cdot ha^{-1}$ , correspondientes al 8,3 y al 8,5 % del total de la biomasa aérea, respectivamente (Tabla 2). La composición porcentual de los compartimientos no mostró mayores diferencias. La biomasa de ramas fue similar en los tres rodales pero el promedio de la masa de ramas por árbol en R1 y R2 fue, respectivamente, un 72% y 42% menor que en R3. El peso seco promedio de fustes de cada rodal fue significativamente diferente entre los tres rodales según el orden  $R1 < R2 < R3$  (Tabla 2).

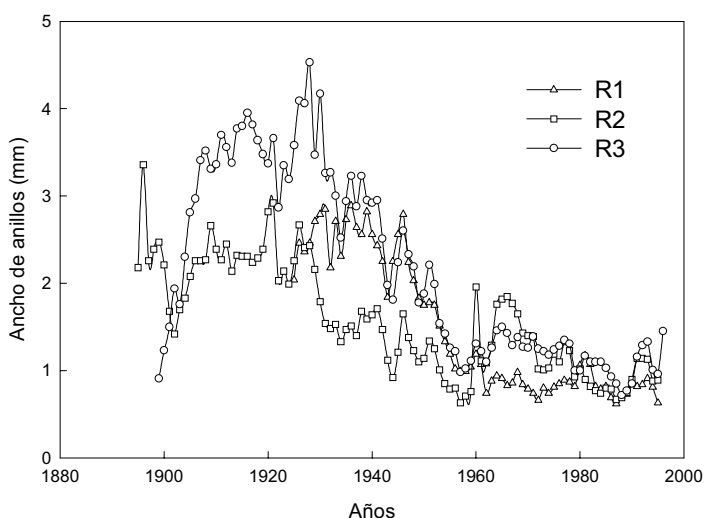
Se encontraron diferencias significativas en la edad promedio entre los rodales (ANOVA,  $F(2,27)=16,91$ ;  $P < 0,05$ ), y el resultado de las comparaciones múltiples arrojó diferencias entre R2 (99 años) y R1 (69 años) - R3 (78 años) ( $P < 0,05$ ).

**Crecimiento.** Los valores de ICA sólo mostraron diferencias significativas en volumen maderable para R3 con respecto a R1 (Tabla 2). El análisis del tiempo necesario para que los árboles alcanzaran la altura del pecho (1,30

m), no mostró diferencias significativas entre rodales ( $F(2,22)=1,24$ ;  $P < 0,05$ ).

Las series de anchos de anillos de crecimiento individuales de cada rodal mostraron patrones similares (Figura 2), variando en la tasa de crecimiento inicial durante los primeros 50 años siendo, posteriormente, semejantes. La pendiente de la curva de crecimiento en R1 fue mayor que en R2 y R3.

**Caída de detritos.** La caída anual de detritos finos no arrojó diferencias significativas entre rodales (ANOVA,  $F(2,27)=1,76$ ,  $P > 0,05$ ). La fracción foliar fue significativamente mayor en R3 (Tukey,  $P < 0,05$ ). La caída de detritos gruesos ( $> 1$  cm) fue significativamente mayor en R1 y R2 que en R3 (Tukey,  $P < 0,05$ ). De agosto a diciembre la caída de detritos finos fue baja en todos los rodales. Con el inicio de la estación seca la caída se incrementa, para alcanzar su máximo al final de la misma. El pico de mayor caída se determinó en el mes de marzo. El tiempo de recambio de las hojas (biomasa foliar/caída foliar anual) no presentó diferencias significativas entre rodales (Tabla 2).



**Figura 2:** Promedio de anchos de anillos de los rodales de *Austrocedrus chilensis* en El Bolsón.  
 Mean tree-ring width of different stands of *Austrocedrus chilensis* in El Bolsón.

*Productividad Primaria Aérea Neta.* La productividad de los rodales R1 y R3 resultó similar y se diferenciaron significativamente de R2. El tiempo de recambio de la biomasa (biomasa total/PPN) fue significativamente menor en R1 que en los otros rodales (Tabla 2).

## DISCUSIÓN

La quema y desmonte ocurridos a fines del siglo XIX permitieron el desarrollo de bosques secundarios a partir del establecimiento de cohortes arbóreas que han constituido rodales de distinta densidad, lo que sugiere diferencias en los procesos de recolonización post-fuego (Veblen *et al.*, 1995).

El análisis de la estructura de edades demostró que si bien las diferencias fueron significativas, los tres rodales pertenecen a una misma clase de edad con un rango de 30 años. La especie posee una edad de madurez entre 250 a 500 años (Veblen *et al.*, 1995), por tal motivo en términos silviculturales se los puede considerar rodales coetáneos (Smith *et al.*, 1997).

La estructura de los rodales analizados se corresponde con la observada en otros bosques puros y compactos de *A. chilensis*; en todos ellos se ha registrado una dominancia de ciprés de ca. 90 % del área basal y también valores altos de densidad (Donoso, 1993; Dezzotti & Sancholuz, 1991; Bava & Gonda, 1993). El volumen total fue mayor que los citados en otros trabajos, lo cual se explica porque se seleccionaron rodales de bosque completamente poblado (Bickford, 1957), esto es, una distribución regular de pies y plena ocupación del sitio.

La estructura actual y la falta de diferencias temporales significativas para alcanzar la altura del pecho, indica que los tres rodales se habrían iniciado en similares condiciones de crecimiento, sin cobertura arbórea, habiendo sido todas las plantas en un primer

momento, dominantes y codominantes diferenciándose cada rodal en la densidad inicial. Cohortes de *A. chilensis* creciendo bajo dosel de la misma especie disminuyen su crecimiento y alcanzan edades de 50-70 años con alturas de 3-5 m (Goya *et al.*, 1998). La posterior evolución de los incrementos diamétricos de los árboles del rodal con un patrón similar pero con pendientes distintas muestra dos aspectos. Por un lado, una evolución característica de individuos que desarrollaron en condiciones abiertas con una marcada aceleración inicial (Cook, 1990). Por otro, las diferencias en los valores de la pendiente reflejan las distintas situaciones de competencia (Peet & Christensen, 1987). *A. chilensis* es una especie con una marcada tolerancia a permanecer en condiciones de altas densidades sobreviviendo con tasas de crecimiento reducidas (Goya *et al.*, 1998). Aunque, por otra parte, a menores densidades puede aprovechar los recursos del sitio y crecer individualmente a mayores tasas. Esto determina que, en ambientes semejantes, el reclutamiento inicial y la dinámica de las poblaciones de *A. chilensis* generen importantes diferencias estructurales que afectan los rendimientos maderables esperados de los rodales, lo que se manifiesta por las dimensiones de los árboles en los distintos rodales. Los crecimientos similares en volumen y biomasa de los tres rodales demuestran que la capacidad productiva del sitio se distribuye en un número mayor de individuos en R1 que en R3, lo que da como resultado el menor tamaño de los fustes en R1 y por ende a igual producción de materia seca menor rendimiento de producto maderable.

Los tres rodales se asemejan en área basal, volumen total, biomasa de hojas y de fuste, todos ellos parámetros resultantes de la capacidad productiva del sitio (Waring, 1983). Esta capacidad productiva posee un máximo que un rodal puede alcanzar si ocupa plenamente ese sitio (Clutter, *et al.*, 1983). Los rodales estudiados corresponden a esta



situación, rodales bien poblados, y se refleja en los valores similares de PPN, principalmente en los rodales R1 y R3, la menor productividad del R2, puede estar relacionada con su mayor edad, situándose en un extremo de la misma clase de edad. La caída de detritos finos de estos rodales constituye el principal componente de la productividad anual, y se encuentra relacionada con los valores de área foliar que no variaron significativamente, lo cual demuestra que se trata de sitios de similar productividad. El área foliar y su expresión como Índice de Área foliar se relaciona directamente con la capacidad productiva (Waring, 1983). No obstante, la diferencia estructural original manifestada principalmente por la densidad, ha favorecido una competencia más intensa en los rodales más densos que se constata en la distribución de tamaños, lo cual conlleva cambios en la distribución por compartimiento de la materia seca por árbol. Ello se refleja en el peso seco de ramas por árbol, en cada rodal, el cual resultó significativamente menor en los rodales más densos. Esto es consecuencia de un menor espacio para crecer (Oliver & Larson, 1997).

Las diferencias en altura dominante correlacionan con los rendimientos en volumen maderable, parámetro relacionado directamente con las dimensiones de los árboles, pero que a su vez no incluye el total de la población pues no incorpora a los árboles < 30 cm DAP. Por lo tanto, la altura dominante como indicadora de calidad de sitio, en el sentido de capacidad productiva en estos rodales, se ve afectada por una significativa diferencia en la densidad. Árboles que crecieron en condiciones de alta competencia alcanzan y mantienen por largo tiempo tasas de crecimiento inferiores a otras plantas que desarrollaron más libremente. La altura es un parámetro que puede seguir este patrón y dar como resultado diferencias de altura en rodales en sitios de una misma calidad (Assmann, 1970). Según Knox *et al.*, (1989), una diferencia en densidad inicial y la posterior competencia

podrían explicar que, a pesar de las semejanzas de edad y sitio, los rodales hayan alcanzado estructuras diamétricas, densidades y alturas dominantes bien diferenciadas.

Basándose en la evolución del crecimiento individual y en la estructura, estos rodales se encontrarían en el final de la fase de instalación (Peet & Christensen, 1987). En sitios con disturbios de baja intensidad, estos rodales comienzan fases de dinámica de claros después de aproximadamente 200 años, generando rodales disetáneos (Veblen *et al.*, 1995), que se encuentran en fase de transición (Peet & Christensen, 1987). Como evolución de los mismos se puede esperar un aumento en la tasa de mortalidad como consecuencia del proceso de autorraleo. Este proceso puede tener diferentes efectos sobre los distintos rodales, con una mayor mortalidad en R1, pudiendo alcanzar los rendimientos maderables del R3, pero en un tiempo muy superior a éste, con las consecuencias sobre los rendimientos económicos esperados (Assmann, 1970). La aplicación de tratamientos silviculturales en momentos apropiados podría aumentar el rendimiento económico de rodales que naturalmente poseen la misma productividad.

## CONCLUSIONES

Dado el amplio rango de tolerancia a la competencia de los rodales de *A. chilensis* en similares condiciones de sitio es posible encontrar estructuras de muy diferente rendimiento. Este hecho hace que en inventarios forestales se deban tener en cuenta otras variables indicadoras de la potencialidad del sitio.

Las densidades de reclutamiento en sitios de igual calidad, sin dosel arbóreo, parecen ser la causa de las diferentes estructuras que presentan bosques de ciprés de edad similar. Si bien la productividad aérea neta es semejante entre las estructuras R1 y R3, no

lo es en el rendimiento de productos cuyo valor comercial se basa en las características dimensionales de los árboles individuales. Esto resulta de relevancia para la silvicultura del ciprés cuando se consideran clasificaciones de sitios en función de índices indirectos o alturas dominantes ya que la dinámica natural de los rodales puede afectar los rendimientos de sitios similares.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la International Foundation For Science (IFS) por la financiación de este trabajo y al Ing. Marcelo Rey del Servicio Forestal Andino de la provincia de Río Negro, al Campo Forestal General San Martín del INTA por el apoyo brindado en las actividades de campo.

## BIBLIOGRAFIA

- Assmann, E.** 1970. Principles of forest yield study, studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands. Pergamon Press Ltd. 506 pp.
- Bava, J. & H. Gonda.** 1993. Propuesta silvícola preliminar de manejo para Ciprés de la Cordillera. Actas del I Congreso Argentino y Latinoamericano. Paraná, Argentina. 100 pp.
- Bickford, C.** 1957. Stocking, normality and measurement of stand density. *Journal of Forestry* 55: 99-104.
- Buamscha, G., M. Gobbi, M.J. Mazzarino & F. Laos.** 1998. Indicators of nitrogen conservation in *Austrocedrus chilensis* forests along a moisture gradient in Argentina. *Forest Ecology and Management* 112: 253-261.
- Cabrera, A.L.** 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 14: 1-42.
- Chauchard, L., M. Rey & M.G. Peñalba.** 1991. Funciones de volumen para ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (Don.) Flor. et Bouleje). Actas de las VI Jornadas Técnicas: Inventarios-Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado, Misiones, Argentina: 40-48.
- Clutter, J.L., J.C. Fortson, L.V. Pienaar, G. H. Brister & R. L. Bailey.** 1983. Timber Management: a Quantitative Approach. John Wiley & Sons, New York. 333 pp.
- Cook, E.R.** 1990. A conceptual linear aggregate model for tree rings. En: Method of dendrochronology. Cook E.R. & L.A. Kairiukstis, Eds. Kluger Academic Publishers. pp. 98-104.
- Crow, T.R.** 1988. A Guide to Using Regression Equations for Estimating Tree Biomass. *North. Journal of Applied Forestry* 5: 15-22.
- Dezzotti, A. & L. Sancholuz.** 1991. Los Bosques de *Austrocedrus chilensis* en Argentina: Ubicación, estructura y crecimiento. *Bosques (Chile)* 12: 43-47.
- Dinerstein, E., D.M. Olson, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Bookbinder & G. Ledec.** 1995. A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin American and the Caribbean. World Bank/World Wildlife Fund, Washington D.C. 129 pp.
- Donoso Zegers, C.** 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Ed. Universitaria, Santiago de Chile. 484 pp.
- Duncan, R.** 1989. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in Kahikatea (*Dacrydium dacrydioides*). *New Zealand Journal of Natural Sciences* 16:31-37.
- Ferrando, J.J.** 1997. Biomasa, productividad y descomposición de rodales de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*). Informe, Beca de perfeccionamiento, UNLP. 23 pp.
- Goya, J.F., J. Ferrando, D. Bocos & P. Yapura.** 1995. Estructura y desarrollo de un rodal coetáneo de *Austrocedrus chilensis* en el El Bolsón, Río Negro, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 71: 165-171.
- Goya, J.F., P.F. Yapura, J.J. Ferrando & M.D. Barrera.** 1998. Estructura y dinámica de rodales naturales de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en la región de El Bolsón, Río Negro, Argentina. (Inedito).
- Holdridge, L.** 1978. Ecología basada en zonas de vida. Costa Rica IICA, Serie Libros y Materiales educativos 34. 216 pp.
- Holmes, R. L.** 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin* 43: 69-75.
- Hueck, K.** 1978. Los bosques de Sudamérica. Ecología, composición e importancia económica. GTZ, RF. Alemania. 476 pp.
- Husch, B., C. Miller & T. Beers.** 1982. Forest mensuration. John Wiley & Sons. New York. 402 pp.
- Jarvis P. G. & J.W. Leverenz.** 1983. Productivity of temperate deciduous and evergreen forests. En: Encyclopedia of Plant Ecology. D.A. Pirson & M.H. Zimmermann., Eds. Springer-Verlag, New

- York. pp. 233-280.
- Klepac, D.** 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma de Chapingo Mexico, 365 pp.
- Knox, R., R. Peet & N. Christensen.** 1989. Population dynamics in loblolly pine stands: Changes in skewness and size inequality. *Ecology* 70:1153-1156.
- Oliver, C.D. & B.C. Larson.** 1997. Forest Stand Dynamics. John Wiley & Sons, Inc. 520 pp.
- Pastorino, M.J & L.G. Gallo.** 1998. Inheritance of isozyme variants in *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Florin et Boutelje. *Silvae Genetica* 47: 15-20.
- Peet, R. & N. Christensen.** 1987. Competition and Tree Death. *BioScience* 37: 586-595.
- Seibert, P.** 1982. Carta de vegetación de la región de El Bolsón, Río Negro y su aplicación a la planificación del uso de la tierra. *Documenta Phitosociologica* 2: 1-120.
- Servicio Forestal Andino.** 1997. Estadísticas de producción de madera de especies nativas. Servicio Forestal Andino de Río Negro. Reporte Interno: 1 pp.
- Servicio Meteorológico Nacional.** 1981. Estadísticas climatológicas 1971-1980. Secretaría de Aeronáutica. Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires. Serie B. N° 35.
- Smith, D.M., B.C. Larson, M.J. Kelty & P.M.S. Ashton.** 1997. The Practice of Silviculture: Applied Ecology, 9th Edition. John Wiley & Sons, Inc. 537 pp.
- Sokal, R.R. & F.J.U. Rohlf.** 1979. Biometría. Principios y métodos estadísticos de la investigación biológica. H. Blume Ed, Madrid. 832 pp.
- Spurr, S.H. & B.V. Barnes.** 1980. Ecología forestal. AGT Ed. SA. 690 pp.
- Stewart, G.H.** 1986. Population dynamics of a montane conifer forest, Western Cascade Range, Oregon USA. *Ecology* 67: 534-544.
- Stokes, M.A. & T.L. Smiley.** 1968. An introduction to tree-ring dating. The University Of Chicago Press. Chicago. 73 pp.
- Veblen, T. & V. Markgraf** 1988. Steppe Expansion in Patagonia? *Quaternary Research* 30: 331-338.
- Veblen, T.T., B. Burns, T. Kitzberger, A. Lara & R. Villalba.** 1995. The Ecology of the Conifers of Southern South America. En: The Ecology of Southern Conifers. Enright, N. & R. Hill. Eds. Melbourne University Press, Australia. pp. 120-155.
- Villalba, R. & T. Veblen** 1998. Influences of largescale climatic variability on episodic tree mortality in northern Patagonia. *Ecology* 79: 2624-2640.
- Waring, R. H.** 1983. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. *Advance in Ecology Research* 13: 328-354.
- Whittaker, R.H. & G. M. Woodwell.** 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *Journal of Ecology* 56: 1-25.
- Whittaker, R.H. & P.L. Marks.** 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. En: Primary Productivity of the Biosphere. H. Lieth & R.H. Whittaker, Eds. Springer-Verlag, New York. pp. 55-118.
- Willis, B.** 1914. El Norte de la Patagonia. Tomo 1. Ministerio de Obras Públicas, Argentina. 500 pp.