

Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos

Modeling growth the of Propopis alba Griseb. With two biological models

M., Juárez de Galindez¹; A. M. Giménez²; N. Ríos³ y M. Balzarini⁴

Recibido en junio de 2005; aceptado en diciembre de 2005

RESUMEN

El algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) crece naturalmente como especie secundaria en la región semiárida llamada Chaco, en el norte de Argentina. Este árbol de la familia de las mimosáceas produce madera de alto valor. Como los bosques no se deben aprovechar a una tasa mayor que la de su crecimiento, es necesario estimarlo para conocer el momento de máximo incremento leñoso de tal manera que los rodales no sean utilizados antes o después de la edad en que se alcanza el mismo. Es necesario disponer de ecuaciones que modelen ese crecimiento. De este modo, ese punto óptimo es un valor clave para determinar cuanto puede ser aprovechado un bosque bajo un manejo de rendimiento sostenido y cual debería ser el momento de corta. El objetivo de este trabajo fue ajustar dos ecuaciones no lineales como el Modelo de Chapman-Richards y el Modelo Logístico para predecir el crecimiento de algarrobo blanco en la región del Chaco. El análisis del fuste fue considerado en 10 árboles y los datos de los anillos fueron suavizados para minimizar el efecto del clima de la región en el crecimiento. Ambos modelos ajustaron bien pero la ecuación Logística fue escogida porque tiene menos parámetros y es más fácil para entender su significado biológico. El máximo incremento biológico para estos árboles estaría entre los 67 y 74 años respectivamente para los modelos arriba citados.

Palabras clave: algarrobo, crecimiento, modelos.

ABSTRACT

Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) grows naturally as secondary tree species in the semiarid region called Chaco, in northern Argentina. This mesquite tree of the mimosa family produces high valuable wood but it is not managed in a sustainable manner. It would be desirable to know when the mean annual increment (MAI) peaks because it provides the best estimate of the maximum production rate that can be continuously sustained, provided stands are not replaced before or after the age of maximum MAI. Thus, the peak MAI is a key value for determining how much can be harvested under sustained-yield management and how long the rotation should be. The objective of the paper was to fit two non-linear equations, namely the Chapman-Richards and logistic models, to predict the growth of algarrobo blanco trees in the Chaco region. Stem analysis was carried out on 10 trees and ring-width data were smoothed to minimize the effect of annual climate variation on the tree growth. Both models fit well but the equations Logistic was preferred because having fewer parameters it is easier to understand their biological meaning. According to the Chapman-Richards and Logistic models the MAI would peak at 67 and 74 years of age respectively.

Keywords: algarrobo (mesquit tree), growth, models.

¹ Cátedra de Estadística O.F. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Facultad de Ciencias Forestales. Univ. Nac. de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Tel/Fax. (0385) 450-9550. Email: marga@unse.edu.ar

² Cátedra de Dendrología. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Facultad de Ciencias Forestales. Univ. Nac. de Santiago del Estero.

³ Cátedra de Dasometría. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Facultad de Ciencias Forestales. Univ. Nac. de Santiago del Estero.

⁴ Cátedra de Estadística y Biometría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Univ. Nacional de Córdoba.

1. INTRODUCCION

Carnevale (1955) estimaba la superficie boscosa del país en 48.570.000 has, perteneciendo a Santiago del Estero 6.000.000 has. En los últimos cincuenta años el recurso forestal, importante fuente de riquezas para esta provincia, fue explotado irracionalmente. Los bosques vírgenes (Parque Copo) ocupan nada más que 120.000 has y el resto se distribuye entre bosques explotados productivos, bosques sobre-explotados y bosques degradados, correspondiéndole a esta última clase la mayor proporción (76% aproximadamente del total de la superficie boscosa de la provincia) (Mariot, 2000). “A fin de revertir esta situación, es necesario tomar medidas urgentes las que deberán basarse necesariamente en investigaciones sobre la biología y productividad de los bosques” (Giménez, 1998).

Casi toda la provincia, cuya superficie total es de 150.000 Km², forma parte de la región del Chaco Semiárido, caracterizado por ser cálido con temperaturas bastante uniformes cuyas máximas absolutas superan los 45° C. Las precipitaciones oscilan de 750 mm en la parte oriental a 500 mm al oeste del territorio provincial, disminuyendo progresivamente de este a oeste siendo el balance hídrico deficitario en todos los meses del año en la mayor parte de la provincia (Boletta, 1988).

De las 15 especies arbóreas de esta zona el algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) pertenece a la categoría de especies secundarias. Es una de las mimosáceas argentinas de mayor importancia económica (Giménez *et al.*, 1998). Su madera, es muy cotizada para muebles, carpintería de obra, parquet, revestimientos. Su creciente utilización también para leña, forraje y alimentos hace que este recurso sea explotado sin tener en cuenta los principios básicos de un aprovechamiento racional y sostenido.

Prodan (1993) opina que no se deben aprovechar los bosques más allá de su crecimiento. Por ello es fundamental conocer el crecimiento en diámetro, altura y las variables que de ellas se derivan como son el área basal y el volumen a fin de poder planificar un aprovechamiento racional del recurso mediante un adecuado manejo silvícola.

Los estudios de crecimiento son importantes para los encargados de planificar un aprovechamiento forestal. La modelación del crecimiento del leño permite la estimación de los momentos donde los árboles alcanzan el máximo crecimiento medio, información de utilidad para la planificación de una apropiada corta y renovación del bosque (Perpiñal *et al.*, 1993).

Como Giménez *et al.* (2001) otros autores que estudiaron el crecimiento del algarrobo blanco en función de la edad han encontrado que una función lineal polinómica de segundo grado ajusta bien la porción sistemática de la variabilidad debida a la edad biológica. Giménez *et al.* (2000) cita también funciones polinómicas para la porción sistemática del modelo de crecimiento de algarrobo negro (*Prosopis nigra*), mientras que Perpiñal *et al.* (1993), trabajando para panta negro (*Prosopis flexuosa*), ajustan el crecimiento empleando el modelo no lineal conocido como modelo de Chapman Richards. Bajo ciertas circunstancias el modelo de Chapman Richards se aproxima al modelo Logístico, el cual también ha sido también utilizado para explicar el crecimiento biológico de numerosas especies arbóreas (Prodan, 1993).

El objetivo de este trabajo es comparar los ajustes logrados por los Modelos de Chapman Richards y Logístico sobre series dendrocronológicas de crecimiento del leño de algarrobo blanco en el Chaco semiárido.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Datos

Se trabajó con datos de 10 individuos adultos de algarrobo blanco, con diámetro a la altura del pecho (medido a 1.30 m del suelo) mayor de 30 cm. Estos fueron apeados, durante 1997, en tres sitios de la provincia de Santiago del Estero: Loreto, Departamento San Martín; Las Delicias, Departamento Pellegrini y Coronel Rico, Departamento Alberdi.

Tabla 1. Diámetro a la altura del pecho, diámetro en la base, altura, edad y lugar de origen de los individuos de algarrobo blanco estudiados.

Árbol	DAP (cm)	Diámetro Base (cm)	Altura Total (m)	Edad (años)	Zona
1	45.11	23.96	8.78	37	Coronel Rico
2	53.65	59.72	9.80	61	Las Delicias - Pellegrini
3	51.56	55.70	7.63	85	Las Delicias - Pellegrini
4	31.64	36.02	8.31	55	Las Delicias - Pellegrini
5	44.40	50.91	9.62	61	Coronel Rico
6	45.77	83.73	12.89	67	Coronel Rico
7	87.03	100.14	14.04	95	Coronel Rico
8	60.78	71.33	12.00	113	Las Delicias - Pellegrini
9	57.29	59.53	7.86	107	Loreto
10	30.83	37.82	10.13	47	Loreto

De una muestra de árboles de distintos tamaños tomada al azar dentro de los rodales de algarrobo blanco de las tres localidades mencionadas, se escogieron también aleatoriamente 10 individuos de los que cumplían con las siguientes características: adultos (diámetro a la altura del pecho superior a 30 cm, con corteza); calidad del fuste (sin defectos); posición social (árbol dominante); tipo de copa (simétrica) y vitalidad (sano). Fueron apeados y de ellos se extrajeron tortas de 5 cm de espesor a la altura de 0.30 m (base). Las muestras se prepararon en la forma descrita por Giménez *et al.* en 1998; mediante el equipo computarizado ANIOL y el programa CATRAS (Aniol, 1991) se realizó la marcación y medición del espesor de anillos (Giménez, 1998; Moglia, 1999).

Los diámetros para cada edad, se obtuvieron mediante análisis epidométrico del fuste realizado sobre cada individuo (Ríos *et al.*, 1997). El programa de análisis epidométrico de fuste (Ríos *et al.*, 1996) fue usado para promediar el espesor de los anillos medidos en cuatro orientaciones (radios) y con ellos obtener una serie de espesores de anillos en cada edad para cada uno de los individuos estudiados.

El crecimiento de un árbol, en un periodo de tiempo determinado, es el resultado de la influencia de distintos factores: edad del árbol, clima y disturbios (Villalba, 1988, Catalán, 2000). Algunos autores (Perpiñal *et al.*, 1995; Juárez de Galíndez, 2001; Juárez de Galíndez *et al.*, 2003), trabajando en especies nativas, usan la técnica de suavizado de las series individuales, a los fines de eliminar la variación climática previo a la modelación del crecimiento biológico. Esta técnica separa la señal de interés (señal debida a la edad del árbol), del ruido concomitante proveniente de otras fuentes de variación.

Se usó un filtro basado en medias móviles de tamaño de ventana igual a 7 años (InfoStat, 2004). Este filtro de baja frecuencia permitió rescatar la tendencia a largo plazo, la cual supuestamente refleja aquélla debida a la edad del árbol o al crecimiento biológico. La figura 1 muestra las series de anchos de anillos, directamente como fueron observadas y luego del suavizado para cada uno de los 10 árboles.

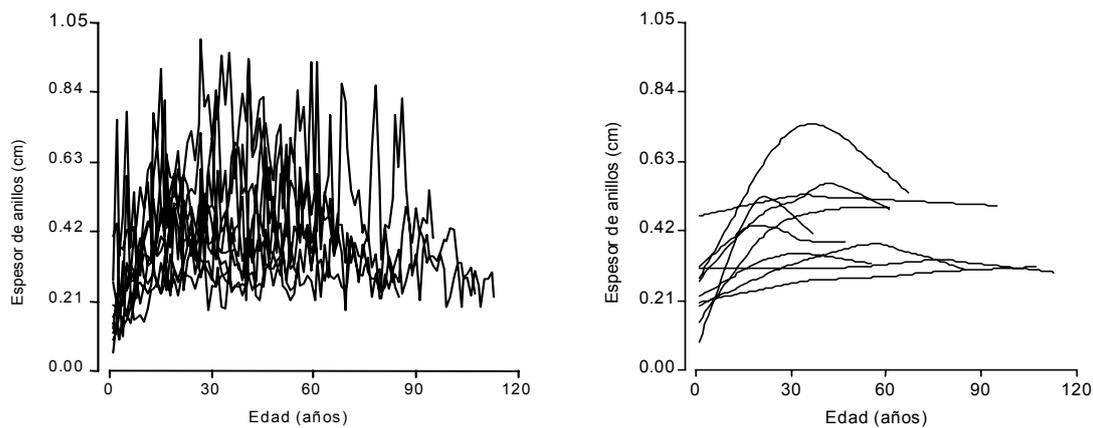


Figura 1. Incrementos radiales observados (izquierda) y suavizados (derecha) de los 10 árboles de algarrobo blanco estudiados en el Chaco semiárido

Modelos biológicos de crecimiento

La familia de ecuaciones de crecimiento asintótico no lineales es ampliamente utilizada para modelar el crecimiento de especies forestales (Alder, 1980). Estas funciones pueden ser utilizadas en su forma integrada (función de productividad o rendimiento) y/o en su forma diferencial (función de crecimiento). A esta familia pertenece la ecuación de Chapman Richards, que en su forma integrada tiene la siguiente expresión determinística:

$$Y = \alpha(1 - \beta * e^{-\gamma * t})^\eta$$

donde Y tamaño del organismo en el tiempo t , α tamaño máximo asintótico (valor de $F(t)$ cuando $t \rightarrow \infty$), t el tiempo y β , γ y η son, además de α parámetros de la función o constantes desconocidas que deben ser estimadas. El parámetro β esta relacionado a los valores iniciales, su signo en función de η parámetro de forma, biológicamente responsable del punto de inflexión que es característico para cada especie y calidad de sitio (Clutter *et al.*, 1983); γ parámetro tasa relacionado con la velocidad de crecimiento. Si el parámetro η se asume constante, se tiene la función propuesta por Bertalanffy en 1949; si se permite que el parámetro η varíe, se tiene una ecuación más flexible; ya que éste permite que la localización del punto de inflexión sea variable.

Otro miembro de la familia es la función Logística, que en su forma integrada, tienen la siguiente expresión determinística:

$$Y = \frac{\alpha}{1 + \beta * e^{-\gamma * t}}$$

La ecuación del modelo Logístico se puede conceputar como derivación de la ecuación de Chapman Richards para un $\eta \rightarrow 2$ (Campbell y Madden, 1990). En ella α es la asíntota, es decir el valor de la función cuando t (edad del árbol) tiende a infinito; β está relacionado con la ordenada al origen; γ es un parámetro tasa relacionado con el valor de t para el punto de inflexión. La función de Chapman Richards es también citada en la literatura como “logística generalizada”.

Como era necesario hallar un modelo adecuado para las curvas de crecimiento más que para las curvas de rendimiento se trabajó con la primera derivada de cada una de estas dos funciones.

La función de crecimiento de Chapman Richards es:

$$\text{Incremento radial} = -\alpha\beta\gamma\eta e^{-\gamma^*t} (1 + \beta e^{-\gamma^*t})^{\eta-1}$$

mientras que la función de crecimiento según el modelo logístico, puede expresarse como:

$$\text{Incremento radial} = \frac{\alpha\beta\gamma e^{-\gamma^*t}}{(1 + \beta e^{-\gamma^*t})^2}$$

Para modelar los datos de un mismo árbol como la suma de estas funciones de crecimiento más un término de error aleatorio, es común asumir que tales errores son independientes y normalmente distribuidos con media cero y varianza constante. Aplicado al contexto de observaciones o registros de anchos de anillos del fuste de un individuo, este supuesto implica que la distribución de las lecturas de ancho de anillos para diferentes edades tiene la misma varianza y que las lecturas dentro de cada árbol son independientes. Aunque el supuesto es muy restrictivo, el ajuste de la estructura de media con estas funciones bajo el supuesto de errores independientes no sólo es común, sino también es de importancia, ya que una estrategia recomendada para modelos de curvas de crecimiento con errores no independientes es primero abordar el modelado de la estructura de medias bajo el supuesto de independencia y luego el de la estructura de covarianzas. Se discute el modelado del crecimiento con las dos funciones antes descritas sin suponer una estructura particular de covariación entre las mediciones repetidas dentro de cada árbol.

Diferentes algoritmos de optimización numérica (Press *et al.*, 1986) son utilizados para ajustar los modelos no-lineales y así obtener estimadores de los parámetros de la ecuación de crecimiento. Los algoritmos necesitan comenzar la búsqueda de estimadores asumiendo un valor inicial para los parámetros.

Ambas funciones fueron ajustadas simultáneamente sobre los datos de anchos de anillos de crecimiento (previo filtrado), con el algoritmo para el ajuste de funciones no-lineales implementado en el software estadístico InfoStat (InfoStat, 2004) a partir de valores iniciales seleccionados *ad hoc*. Las estimaciones iniciales de α y η en la ecuación de Chapman Richards fueron obtenidas según el procedimiento descrito por Alder (Alder, 1980).

El algoritmo de optimización involucra dos etapas: a) búsqueda de una solución aproximada mediante el método *downhill simplex* propuesto por Nelder y Mead (1965) que no requiere la evaluación de derivadas parciales, y b) iteración numérica de la solución mediante el procedimiento de Levenberg-Marquardt (Press *et al.*, 1986).

Ajustes

Se ajustaron, empleando los modelos de Chapman Richards y Logístico, las series individuales de incrementos radial (i.e. de cada uno de los 10 árboles) y la serie promedio poblacional (para los 10 árboles en conjunto). Este último ajuste fue utilizado para obtener la serie de incrementos medios anuales dividiendo el crecimiento acumulado en cada edad por la cantidad de años del período en el que se acumula (Thren, 1993). Según el autor citado precedentemente cada uno de estos incrementos se verifica para cada una de las magnitudes dasométricas.

La curva de incremento corriente anual (curva de crecimiento ajustada) se graficó simultáneamente con la curva de incremento medio anual. El punto de intersección de ambas fue usado para estimar la edad de máximo incremento biológico, según estos modelos de crecimiento.

Los criterios de evaluación de ajustes no lineales aplicados a un mismo conjunto de datos son variados.

Los ajustes logrados fueron comparados usando los siguientes criterios: 1) EAM (media de los errores absolutos), 2) Prueba de aleatoriedad de los signos (Draper y Smith, 1981), 3) Errores estándares relativos de los estimadores (error estándar dividido por la estimación del parámetro), 4) Var(ABC), representa la varianza de las áreas bajo las curvas de crecimiento

individuales (para cada árbol) respecto al área bajo la curva de crecimiento promedio de los 10 árboles estimada por el modelo, y 5) gráfico de residuos estudentizados vs valores estimados. Se decidió emplear estos residuos en lugar de aquéllos comunes, *i.e* diferencias entre valor observado y estimado, debido a que las edades extremas (bajas o altas) son influyentes en el ajuste.

Los residuos estudentizados, son los residuos comunes divididos por una función que no sólo incluye la variabilidad total sino también la influencia del dato en el ajuste, dependiente de la edad del árbol en la que se toma ese dato. Estos deberían estar entre 3 y -3.

3. RESULTADOS

La edad promedio de los árboles estudiados fue 73 años con un rango de variación entre 37 y 113 años (Tabla 1). Los parámetros del modelo de Chapman Richards para el conjunto de árboles de algarrobo blanco fueron 161.10, 0.01, 2.30 y -0.89 para α , γ , η y β respectivamente.

Para el modelo Logístico los parámetros fueron: $\alpha=66.77$; $\beta=3.77$ y $\gamma=0.03$. En el primer modelo el EAM fue igual a 0.81 y para el Logístico 0.094. Los residuos estudentizados variaron entre 3 y -3 para ambos modelos.

La disminución en la tasa de crecimiento se produce después de los 30 años; según el modelo logístico el máximo ocurre en una edad mayor que en el modelo de Chapman Richards (Figura 2).

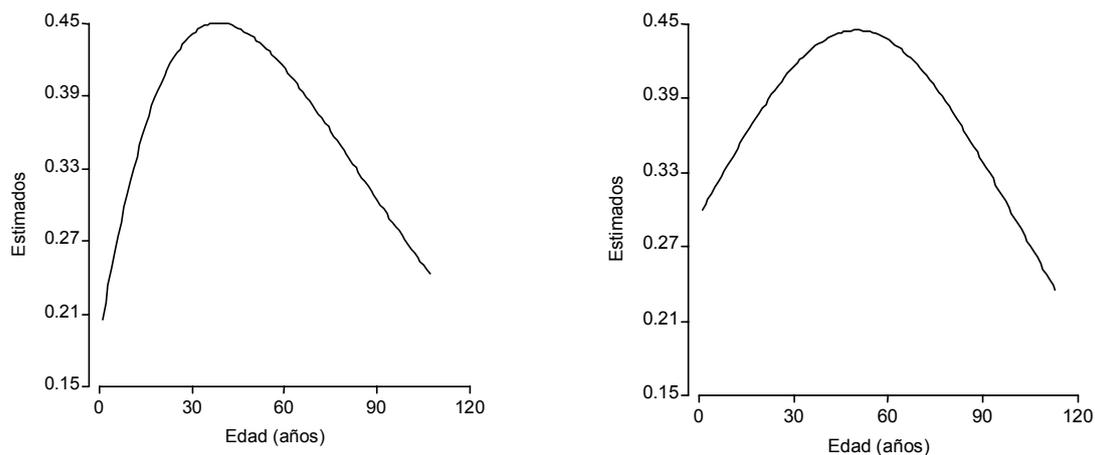


Figura 2. Valores estimados del espesor de los anillos de crecimiento a las distintas edades de los 10 árboles de algarrobo blanco (izquierda Modelo de Chapman-Richards; derecha Modelo Logístico)

El análisis de los signos de los residuos en ninguno de los dos modelos indicó problemas de falta de independencia (Tabla 2).

Tabla 2. Secuencia de signos de residuos por clases de edad de los modelos de crecimiento de Chapman Richards y Logístico aplicados a series de ancho de anillos de crecimiento de los 10 árboles de algarrobo blanco.

Clases de edad	Chapman Richards Media de errores	Logístico Media de errores
1 – 10	-0.0013	-0.0300
10 – 20	0.0015	0.0100
20 – 30	0.0022	0.0200
30 – 40	-0.0100	0.0100
40 – 50	0.0009	0.0032
50 – 60	0.0200	-0.0010
60 – 70	-0.0100	-0.0200
70 – 80	-0.0500	-0.0300
80 – 90	-0.0200	0.0017
90 – 100	0.0200	0.0300
100 - 110	0.0600	0.0300

Para ambos modelos no se rechazó la hipótesis de aleatoriedad de los residuos (modelo de Chapman Richards $p=0.5216$; modelo Logístico $p=0.0671$) (Tabla 3). Estos errores fueron menores para el modelo Logístico que para el modelo de Chapman-Richards. Se realizó por último el cálculo del área bajo la curva poblacional promedio y bajo la curva de cada árbol individual, según los dos modelos.

La varianza de las áreas para el primer modelo fue $\text{Var}(ABC)=0.0069 \text{ cm}^2$, mientras que para el modelo Logístico la variabilidad de las áreas individuales respecto al valor promedio, fue menor, $\text{Var}(ABC)= 0.0042 \text{ cm}^2$.

Tabla 3. Errores estándares relativos de los estimadores de los modelos estudiados.

Modelo	α (%)	β (%)	γ (%)	η (%)
Chapman Richards	4.68	10.11	18	25.65
Logístico	4.06	6.90	4.33	

Usando el Modelo de Chapman Richards la edad de culminación biológica, se estima a los 67 años mientras que a partir del Modelo Logístico la edad esperada es 74 años (Figura 3).

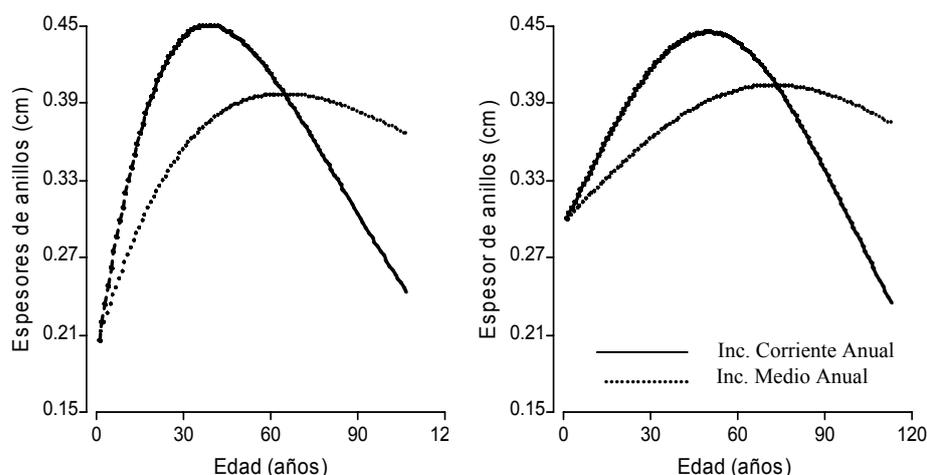


Figura 3. Edad de culminación biológica de 10 árboles de algarrobo blanco en el chaco semiárido, según dos modelos (izquierda, Modelo de Chapman-Richards ; derecha, Modelo Logístico)

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En las ciencias forestales en particular, las curvas de crecimiento biológico de árboles individuales o rodales son modeladas por funciones no lineales de sus parámetros a través de la aplicación de algoritmos de optimización, pero pocas veces se prueba dos o más modelos y los ajustes se acompañan de criterios que permitan su evaluación y por ende la selección del “mejor modelo”. Se compararon, mediante diversos criterios, los ajustes de dos modelos biológicos no-lineales ampliamente usados para predecir el crecimiento del espesor de anillos de 10 individuos de algarrobo blanco.

Los errores estándares relativos de los estimadores fueron menores para el Modelo Logístico que para el Modelo de Chapman Richards, cuando se modeló el crecimiento de los 10 árboles en su conjunto. En el ajuste para cada árbol individual, se observaron menores errores estándares relativos de los estimadores para el Modelo Logístico.

La varianza de las áreas bajo las curvas de crecimiento ajustadas fue menor para el Modelo Logístico que para el Modelo de Chapman Richards. Estos y otros criterios de bondad de ajuste sugirieron que no era necesario trabajar con un modelo más parametrizado como es el modelo de Chapman Richards. Además la sobreparametrización dificulta las interpretaciones de las estimaciones de los parámetros que tienen sentido desde un punto de vista práctico.

Los resultados obtenidos coinciden con lo demostrado por Juárez de Galíndez (2001), en cuanto a que en especies del género *Prosopis* tiene sentido mantener un modelo biológico que considere la disminución progresiva del ancho de los anillos después de alcanzar un máximo lo que no ocurre en otras especies nativas como *Schinopsis lorentzii* (quebracho colorado) (Juárez de Galíndez *et al.*, 2003) y *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco) (Juárez de Galíndez, 2001).

Según el Modelo de Chapman Richards el espesor promedio de los anillos de crecimiento de los árboles estudiados es de 0.38 cm. Con el Modelo Logístico se obtuvo un crecimiento anual promedio similar de 0.39 cm. Los ajustes arrojaron valores cercanos a los hallados por Giménez *et al.* (2001) para la misma especie, 0.41 cm, aún cuando la estimación del crecimiento realizada en dicho trabajo se basó en un modelo lineal de segundo orden y sin suavizado del ancho de los anillos.

El término cuadrático en ese ajuste, también sugirió a través de su signo negativo, que los incrementos radiales sufren una disminución progresiva. El crecimiento de los árboles estudiados es mayor a los valores reportados por Giménez *et al.* (2000) para *Prosopis nigra* (algarrobo negro) en el Chaco Árido, con un espesor medio de 0.33 cm.

La edad de culminación biológica calculada a partir de los ajustes realizados con el Modelo de Chapman Richards fue de 67 años, mientras que con el Modelo Logístico resultó ser 74 años. Si bien el ajuste del Modelo Logístico sería superior al ajuste del modelo de Chapman Richards por lo expuesto *up supra*, la diferencia entre las edades estimadas para la culminación biológica no parecen tener demasiada significación entre ambos modelos. Sin embargo es importante notar, que ambas fueron muy superior a los 35 años encontrado por Perpiñal *et al.* (1995), para individuos de *Prosopis flexuosa* (panta negro) en la misma área.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Alder, D. (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estudio FAO: Montes. Volumen 2. PP 56-61
- Aniol, R. (1991). Computer aided tree rings analysis system, User manual. Schleswig, F.R.G. Alemania.
- Bertalanffy, L. (1949). Problems of organic growth. *Nature* 163:156-158
- Boletta, P. (1988). Capítulo 1 de: Desmonte y habilitación de tierras en la región chaqueña semiárida. Oficina regional de la FAO para América latina y El Caribe. Chile. pp 7-21
- Carnevale, J. (1955). Árboles forestales. Descripción, cultivo, utilización. 689 p.
- Catalán, L. (2000). Crecimiento leñoso de *Prosopis flexuosa* en una sucesión post-agrícola en el Chaco Árido: efectos y relaciones de distintos factores de proximidad. Tesis doctoral. 230 p.

- Campbell, C. L. y L. V. Madden (1990). Introduction to plant disease epidemiology. A Wiley Interscience publication. Cap. VIII, pp:161-202
- Clutter, J.; Forstson, J.; Pienaar, L.; Brister, G. y Bailey, R. (1983) Timber management: a quantitative approach. Ed. John Wiley & Sons. 333 p.
- Draper, N. y Smith, H.(1981). Applied Regresión Análisis, Second Edition . 709 p.
- Giménez, A. M. (1998). Influencia de la Edad sobre caracteres anatómicos y el crecimiento de *Schinopsis quebracho colorado* Engl., Anacardiaceae. Tesis Doctoral. 104 p.
- Giménez, Ana M., Ríos N., Moglia G., Hernández P. y Bravo S. (2001). Estudio de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba Griseb.*, Algarrobo blanco, *Mimosaceae*. Revista Forestal Venezolana. 45(2): 175-183
- Giménez, A; G. Moglia; P. Hernández y S. Bravo.(2000). Leño y corteza de *Prosopis nigra*(Griseb.) Hieron, Mimosaceae, en relación a algunas magnitudes dendrométricas. Revista Forestal Venezolana. 44(2):29-37.
- Giménez, Ana M., Ríos N., Moglia G.y López, C. (1998). Leño y corteza de *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. Bosque 19(2): 53-62
- InfoStat. (2004). Infostat, versión 2004.Manual del usuario. Grupo Infostat, FCA, Universidad nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas. Argentina. 314 pp.
- Juárez de Galindez, M. (2001) Modelización estadística de curvas de crecimiento de árboles en bosques nativos: quebracho colorado, quebracho blanco y algarrobo blanco. Tesis para optar al grado académico de Magíster en Estadística Aplicada. 131 pp.
- Juárez de Galindez, M.; Giménez, A. M.; Pece, M. y Ríos, N. (2003) Comparación de la aplicación de dos modelos de efectos fijos y errores independientes en el crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado* Engl. Foresta Veracruzana 5(1):15-22.
- Mariot, V. (2000). Uso múltiple de áreas forestales como factor de desarrollo (protección, producción, Uso social, fijación de carbono, sistemas agroforestales etc...) Conferencia realizada en la Universidad Nacional de Tucumán en el marco de la reunión anual de Ciencia y Técnica de la Universidades del NOA.
- Moglia, J. G. (1999). Variabilidad de los caracteres anatómicos del leño de *Aspidosperma quebracho blanco* (Schelkt), Apocinácea. Tesis doctoral. 91 p.
- Nelder J. A. y Mead R. (1965). Downhill simplex method in multidimensions. Computer Journal 7:308.
- Perpiñal, E.; Balzarini, M.; Pietrarelli, L. y Catalán; L. (1993). Crecimiento de *Prosopis flexuosa* en montes naturales del Chaco árido. Modelización sobre series temporales de ancho de anillos de crecimiento. VII Jornadas Técnicas Ecosistemas Forestales nativos. Uso, Manejo y Conservación. Actas I. Misiones.
- Perpiñal, E.; M. Balzarini; L. Catalán; L. Pietrarelli y U. Karlin. (1995). Edad de culminación del crecimiento en *Prosopis flexuosa* D.C. en el Chaco Árido Argentino. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales . 4(1) :45-55.
- Press, W. H.;Flamery,P y Vetterling, W.T. (1986). Numerical recipes. Cambridge University Press. 818 p.
- Prodan, M. (1993). Discurso pronunciado en la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Publicado en la Revista Quebracho(4):51-55
- Ríos, N., Giménez, A. M. y Torales, A. (1996). Análisis Epidométrico de fuste. II Jornadas Técnicas del Chaco. Formosa. 18 p.
- Ríos N.; A. M. Gimenez y J. G. Moglia de Lugones. (1997). Crecimiento de especies leñosas de la Región Chaqueña Seca. AFOA, Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. ISSN: 0329-1103. Bosques Nativos y Protección Ambiental. 10 p.
- Thren, M. (1993) Serie Técnica Forestal. Volumen I. Dasometría. Proyecto GTZ/UNZSE. 182 p.
- Villalba, R. (1988). Dendrocronología: su aplicación al manejo dasonómico de los algarrobales. *Prosopis* en la Argentina. Inédito.

