



Artículo / Article

Crecimiento de árboles individuales de Mistol (*Ziziphus mistol* Griseb.), especie importante del Chaco Argentino

Growth of individual mistol (*Ziziphus mistol* Griseb.) trees: an important species of the Argentinian Chaco

Ana María Giménez¹, Norfol Ríos¹, Patricia Hernández¹ y Cintia Cavilla¹

Resumen

Ziziphus mistol es una especie arbórea con destacada presencia en El Chaco Argentino, que junto al quebracho blanco es la más abundante y frecuente. El objetivo del trabajo consistió en modelar el crecimiento de árboles individuales de mistol y analizar las posibilidades en relación al turno de corta. El estudio se realizó con muestras de Villa La Punta, Guasayán y Santos Lugares, Alberdi, Santiago del Estero, Argentina. Se cortaron 26 árboles seleccionados al azar. Se trabajó con las secciones transversales de fuste, obtenidas a la altura del DAP (1.30 m). El conteo y medición de anillos se efectuó con el equipo computarizado ANIOL y el programa CATRAS. Se midió el espesor de anillo o Incremento radial (IR). IR, DAP, SN y se modeló el volumen de fuste (VF) en función de la edad. Se calculó el incremento promedio anual (IMA) y el incremento anual (IA) para las variables DAP, SN y VF. El mistol presenta anillos de crecimiento delgados y moderadamente marcados, (0.273 cm), con diferencias estadísticamente significativas entre sitios. El IA e IMA en SN y VF no se interceptan en el intervalo de edad estudiado (78 años). Por causa de un mal estado sanitario y la presencia de duramen reducido, se recomienda la cosecha a partir de 25 cm DAP.

Palabras clave: Argentina, El Chaco, incremento anual (IA), incremento promedio anual (IMA), quebracho, *Ziziphus mistol* Griseb.

Abstract

Ziziphus mistol is, together with white quebracho, the most prevalent tree species in the Argentinian Chaco. The objective of this research was to model the growth of individual mistol trees and to analyze their possibilities in relation to logging. The study was carried out with samples from Villa La Punta, Guasayán and Santos Lugares, Alberdi, Santiago del Estero, Argentina. 26 randomly selected trees were logged. Cross-cutting sections of the stem cut at the height of the BHD (1.30 m) were used. The count and measurement of the rings was performed with the ANIOL computer system and the CATRAS software. The ring width or Radial Increase (RI) was measured. RI, BHD, NS and stem volume (SV) were modeled according to tree age. The mean annual increase (MAI) and the annual increase (AI) were estimated for the variables BHD, NS and SV. Mistol has thin, moderately demarcated growth rings (0.273 cm), with statistically significant differences between sites. The AI and MAI in NS and SV do not intercept in the studied age interval (78 years). Because of its poor health status and of its narrow heartwood, harvesting is recommended after the tree has attained a BHD of 25 cm.

Key words: Argentina, Chaco, annual increase (AI), mean annual increase (MAI), quebracho, *Ziziphus mistol* Griseb.

Fecha de recepción/Date of receipt: 14 de abril de 2014; Fecha de aceptación/Date of acceptance: 23 de abril de 2015.

¹ Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (Insima), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina
Correo-e: amig@unse.edu.ar

Introducción

El bosque nativo chaqueño ha sido aprovechado los últimos 100 años mediante un sistema de corta selectiva de los principales taxa. Así, los quebrachos colorados (*Schinopsis lorentzii* Engl.), los blancos (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schltr.) y los algarrobos (*Prosopis alba* Griseb.) fueron talados excesivamente, lo que modificó la estructura del bosque. Las especies secundarias proliferaron y se convirtieron en dominantes, como sucedió con el mistol (*Ziziphus mistol* Griseb.) de la familia Rhamnaceae, que junto con *Aspidosperma quebracho-blanco* sobresalen en El Chaco argentino, por su abundancia y frecuencia (Giménez y Hernández, 2008).

Valorar las especies secundarias de este lugar es una de las razones del presente trabajo; de ellas, el mistol es la de mayor importancia económica en Argentina (Tortorelli, 2009). Su distribución se restringe a los bosques del Parque Chaqueño en el norte del país, en las Provincias Chaqueña, del Espinal y Mesopotámica; constituye la matriz básica de las correspondientes al arbolado de El Chaco semiárido junto con *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Cercidium praecox* Burkart & Carter, *Geoffroea decorticans* Burk. y *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. (Giménez *et al.*, 2000b).

A pesar de que poco se conoce sobre las condiciones de manejo sustentable, el mistol tiene perspectivas interesantes por sus múltiples aplicaciones Giménez y Moglia (2003a); Roth y Giménez (1997); Tortorelli (2009); y Giménez *et al.* (2014) estudiaron algunas características anatómicas de su madera, usos y la relación entre albura y duramen, en función de la edad y del DAP.

Ziziphus mistol es un árbol espinoso de copa globosa (Figura 1 A), con fuste corto (2-3 m), de 16 m de altura máxima (cuarta magnitud), 0.50 m de diámetro máximo, de ramas y ramitas zigzagueantes espinescentes. Hojas simples, alternas, con estípulas, caracterizadas por las nervaduras campilódromas (Figura 1 B). El fruto es una drupa globosa dulce (Figura 1 C), comestible, de color pardo rojizo cuando está madura, de consistencia carnosa (Giménez y Moglia, 2003).

Presenta excelente regeneración natural y fructificación (Figura 1 D), de fácil producción en vivero (Figura 1 E); madera muy dura (Figura 1 F) y pesada (peso específico: 0.95 kg/dm³), utilizada en carpintería en general, es apta para la fabricación de mangos y cabos de herramientas, rayos de ruedas y trabajos de tornería, además es de gran consumo como carbón vegetal.

El nombre popular "mistol" se debe a que posee la albura clara y el duramen rojizo, razón por la cual, quienes utilizan su madera, la consideran como una especie mixta entre el quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*) y el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) (Giménez *et al.*, 2007b).

Introduction

During the last 100 years, the native forest of Chaco has been exploited by selective logging of the main taxa. Excessive amounts of red quebracho (*Schinopsis lorentzii* Engl.), white quebracho (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schltr.) and carob (*Prosopis alba* Griseb.) trees were logged, a practice that modified the structure of the forest. Secondary species proliferated and became dominant; such was the case of mistol (*Ziziphus mistol* Griseb., a member of the family Rhamnaceae), which, along with *Aspidosperma quebracho-blanco*, is prevalent in the Argentinian Chaco (Giménez and Hernández, 2008).

One of the main purposes of this research was to appraise the secondary species of this area; among these, mistol has the highest economic importance in Argentina (Tortorelli, 2009). Its distribution is restricted to the forests of the Chaco Park in the north of the country, in the Chaco, Espinal and Mesopotamia provinces; it is the basic matrix of the species of the semiarid Chaco forest, along with *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Cercidium praecox* Burkart & Carter, *Geoffroea decorticans* Burk. and *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. (Giménez *et al.*, 2000b).

Although little is known about the sustainable conditions for its management, mistol has interesting perspectives, as it has multiple applications Giménez and Moglia (2003a); Tortorelli (2009); Roth and Giménez (1997) and Giménez *et al.* (2014) have studied some anatomical characteristics of its wood, its uses and the relationship between the sapwood and the heartwood in terms of age and BHD.

Ziziphus mistol is a spiniferous tree with a roughly spherical crown (Figure 1 A), with a short stem (2-3 m), a maximum height of 16 m (fourth magnitude), and a maximum diameter of 0.50 m; it has spinescent branches arranged in zig-zag. Its leaves are simple, alternate, with stipules, and are characterized by campylodromous venation (Figure 1 B). The fruit is a sweet, edible spherical drupe (Figure 1 C), reddish-hazel colored when ripe and with a fleshy consistency (Giménez and Moglia, 2003).

This species has excellent natural regeneration and fruition (Figure 1 D) and extremely hard wood; it is heavy (specific weight: 0.95 kg/dm³) and easy to grow in a nursery (Figure 1 E); it is used in carpentry in general, is suitable for the manufacture of tool handles and end pieces, wheel spokes and turnery work, and is vastly consumed as charcoal.

It owes its popular name, "mistol", to the fact that it has a light-colored sapwood and a reddish heartwood and is therefore considered by those who utilize its wood as a mixed species between the red (*Schinopsis lorentzii*) and the white quebracho (*Aspidosperma quebracho-blanco*) (Giménez *et al.*, 2007b).



Figura 1. *Ziziphus mistol* Griseb. A) Aspecto general del árbol; B) Detalle de las hojas con nervaduras campilódromas; C) Frutos maduros; D) Renoval; E) Producción de plantas en vivero; F) Sección de fuste a 1.30 m, donde se evidencia el duramen reducido.

Figure 1. *Ziziphus mistol* Griseb. A) General aspect of the tree; B) Detail of the leaves with campylodromous venation; C) Ripe fruits; D) Young trees; E) Nursery grown plants; F) Stem section at 1.30 m exhibiting a small heartwood core.

El mistol brinda una interesante variedad de productos forestales no maderables (PFNM) a partir de los frutos, la corteza y las hojas. Los primeros aprovechan como alimento en la fabricación de comida y bebida típicas del norte argentino, y en medicina popular para el tratamiento de padecimientos hepáticos y pectorales. Los frutos y hojas son usados como expectorantes, desinfectantes, cicatrizantes, además como antídoto para mordedura de insectos venenosos. La corteza es astringente, contiene saponinas y es utilizada por los lugareños para lavar ropa, y se emplea como forraje (Giménez *et al.*, 2010).

Sin embargo, poco se conoce del crecimiento de la especie. Juárez de Galíndez *et al.* (2006) analizaron la relación entre la altura y el diámetro de los árboles, como estimadores de los volúmenes y de la biomasa para la caracterización de la estructura de las masas arbóreas.

El crecimiento se define como el cambio irreversible de los árboles durante periodos cortos (Clutter *et al.*, 1983). En el bosque se entiende como un proceso dinámico y desde el punto de vista de un balance de masas incluye una entrada (incorporación), un movimiento (crecimiento) y una salida (mortalidad y cosecha) (Návar y Domínguez, 2013). A nivel individual, se le considera el cambio gradual en sus dimensiones (diámetro y altura) a través del tiempo y lo afectan diversos factores.

Las proyecciones del incremento y rendimiento son cruciales en el manejo sustentable de ecosistemas forestales. El rendimiento se refiere al crecimiento integrado en un intervalo de tiempo (Vanclay, 1995). Los modelos de incremento y rendimiento se pueden clasificar en: los de escala del rodal; de clases diamétricas de árboles individuales (Peng, 2000). Los modelos de incremento y rendimiento para árboles individuales son complejos y modelan cada individuo de una lista de árboles. Debido a la carencia de parcelas permanentes en la región, se decidió analizar el crecimiento de mistol a partir de un estudio epidemétrico.

El objetivo del trabajo que se describe fue determinar el potencial del crecimiento de árboles individuales de mistol y analizar las posibilidades de la especie en relación al turno de corta.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó con material de la localidad de Villa La Punta, Guasayán (S1) (28°08' latitud S, 64°48' longitud oeste), y Santos Lugares, Alberdi (S2) 26°40'61" latitud S, 63°35'41" longitud oeste de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina.

Se cortaron 26 árboles (10 en S1 y 16 en S2) seleccionados al azar. Se trabajó con las secciones transversales de fuste, obtenidas a la altura del DAP (1.30 m), 0.30 y final del fuste. Se lijaron con Máquina Brezzo Combinada Carpintería

Mistol provides an interesting variety of non-timber forest products (NTFPs) from the fruits, bark and leaves. Its fruits are used in the manufacture of foods and drinks typical of the northern region, and in popular medicine, in which it is used to treat liver and respiratory ailments; the fruits and leaves are used as expectorants, disinfectants and scar tissue forming agents, and as an antidote for venomous insect bites. The bark is astringent, contains saponines and is used by the locals as laundry soap and as fodder (Giménez *et al.*, 2010).

However, little is known about the growth of the species. Juárez de Galíndez *et al.* (2006) analyzed the relationship between the height and diameter of the trees as estimators of the volumes and biomass in order to characterize the structure of forested areas.

Growth is defined as irreversible change in the trees occurring in short periods of time (Clutter *et al.*, 1983). In the forest, growth is understood as a dynamic process, and from the point of view of forest mass balance, it includes an input (incorporation), a movement (growth) and an output (mortality and harvesting) (Návar and Domínguez, 2013). At an individual level, it is defined as gradual change in dimensions (diameter and height) through time and is influenced by various factors.

Increase and yield projections are crucial for the sustainable management of forest ecosystems. Yield refers to the integrated growth in a time interval (Vanclay, 1995). Increase and yield models can be classified into: stand-scale models; diametric class models and individual tree models (Peng, 2000). Increase and yield models for individual trees are complex and model each individual in a list of trees. Because permanent plots are scarce in the region, the decision was made to base the analysis of the growth of mistol on an epidemetric study.

The purpose of the research described above was to determine the growth potential of individual mistol trees and analyze the possibilities of the species in relation to logging.

Materials and Methods

The study was carried out using materials from the locality of Villa La Punta, Guasayán (S1) (28°08' S Latitude, 64°48' W Longitude) and Santos Lugares, Alberdi (S2) 26°40' 61" S Latitude, 63°35'41" W Longitude, in the Province of Santiago del Estero, Argentina.

Transversal stem sections obtained from the BHD height (1.30 m), 0.30 and the stem tip. They were sanded with a 2 hp Brezzo Combined Woodworking Machine with 6 Operations: 300mm MB300STD table with a planer, belt and orbital sanders and a set of files with grain sizes 600 to 100, until attaining a smooth surface that most clearly demarcates the growth rings.

6 Operaciones 2hp Mesa 300mm MB300STD con cepilladora, lijadora de banda y lijadora orbital con juego de lijas de granulometría de 600 a 100, hasta que se tuvo una superficie lisa que marcó con la mayor fidelidad los anillos de crecimiento.

El conteo y medición de anillos se efectuó con el equipo computarizado Aniol (1991) y el programa CATRAS. El trabajo se hizo sobre cuatro radios perpendiculares. Se midió el espesor de anillo o Incremento radial (IR). En este procedimiento se consignó el número de años y el espesor con una precisión de centésima de milímetro. Se sincronizaron los anillos de modo manual y por cuadrantes, para tener diferencia de edad (± 2 años). La anualidad de los anillos fue ya estudiada por Roth y Giménez (1997) para las principales especies de El Chaco argentino, entre las que se cuenta el mistol.

Para el estudio de las tendencias de crecimiento se usó el método basado en la edad biológica de los árboles (Komin, 1987), con individuos de edades diferentes. El espesor de los anillos de cada uno de ellos se alineó con los de otros ejemplares según la edad biológica y no cronológica. Así se expresaron biológicamente las tendencias de crecimiento de la especie en determinado sitio. Dicho proceso para obtener el promedio atenúa, en gran parte, las fluctuaciones anuales en el anillo debido a causas ambientales, las cuales quedan descartadas (Stokes y Smiley, 1978).

Se determinaron y analizaron las siguientes variables, en función de la edad:

- IR = Incremento radial o espesor de anillo de crecimiento
- DAP = Diámetro a la altura de 1.30 m
- SN = Sección normal del árbol (sección a la altura de 1.30 m).
- VF = Volumen de fuste

Se calcularon el crecimiento medio anual (IMA) y el crecimiento anual (IA) para las variables DAP, SN y VF. El primero resulta del cociente entre el valor total acumulado de la variable considerada, en un tiempo de su evolución, desde su origen y su edad en ese momento. El Incremento Anual (IA) es la expresión del crecimiento que resulta en un año. Ambos coinciden en un momento específico de la vida del árbol o de la masa, en el cual el IMA es máximo. La edad de culminación biológica se obtuvo a partir del punto de encuentro de la curva del IMA y del IA. El crecimiento medio anual (IMA) resulta del cociente entre el valor total acumulado de la variable considerada, en un determinado tiempo de su evolución, desde su origen y su edad en dicho momento.

$$IMA = \text{Variable}(n) / n \quad (1)$$

$$IA = V_n - V_{(n-1)} \quad (2)$$

The rings were counted and measured using the Aniol computer equipment (1991) and the CATRAS software, based on four perpendicular radii. Measurements were taken of ring thickness or Radial Increase (RI). This procedure registered the number of years and the thickness with a precision of one hundredth of a millimeter. The rings were synchronized manually and by quarters in order to estimate age difference (± 2 years). The annual appearance of the rings of the main species in the Argentinian Chaco, one of which is mistol, has already been studied by Roth and Giménez (1997).

Growth tendencies were examined according to the biological age of individual trees of different ages (Komin, 1987). The thickness of the rings of each individual was aligned with those of the other specimens by biological -not chronological- age. Thus the growth tendencies of the species in a particular site were expressed biologically. This averaging process greatly attenuates the annual fluctuations in the ring width due to environmental causes, which are dismissed (Stokes and Smiley, 1978).

The following variables were determined and analyzed in terms of age:

- RI = Radial increase or growth ring thickness
- BHD = Diameter at the height of 1.30 m
- NS = Normal section of the tree (section at the height of 1.30 m).
- SV = Stem volume

The mean annual growth (MAI) and the annual growth (AI) were estimated for variables BHD, NS and SV. The first is the result of dividing the total accumulated value of the considered variable at a particular point in the evolution of a tree from its birth by its age at that point. Annual Increase (AI) is the expression of growth resulting in the course of one year. Both coincide at a specific point in the life of the tree or of the forest mass when the MAI reaches its maximum value. The age of biological culmination was obtained from the meeting point of the MAI and AI curve.

$$MAI = \text{Variable}(n) / n \quad (1)$$

$$AI = V_n - V_{(n-1)} \quad (2)$$

Where:

- MAI = Mean annual increase
- (n) = Year
- AI = Annual increase
- V_n = Variable in the year n;
- V_(n-1) = Variable in the year n-1

Data analysis

The data were analyzed using the IFOSTAT statistical software (2011). The individual tree-ring width series was standardized

Donde:

IMA = Incremento medio anual
 (n) = Año
 IA = Incremento anual
 V_n = Variable en el año n
 V_(n-1) = Variable en el año n-1

Análisis de datos

Los datos fueron analizados con el software estadístico IFOSTAT (2011). Se aplicó la técnica de suavizado de las series individuales de ancho de anillos para eliminar la variación climática de las series de IR, previa modelación del crecimiento. Se usó un filtro basado en medias móviles de ventana igual a cinco, siete y 11 años (Juárez de Galíndez *et al.*, 2007), y se seleccionó la de mejor ajuste.

Las tendencias de crecimiento de la especie en determinado sitio se expresaron biológicamente. La estandarización de la curva de crecimiento medio presume que la forma de la estructura a cualquier edad biológica es independiente del periodo durante el cual se produce.

Los modelos de regresión para IR, DAP, SN, VF y la edad fueron analizados y el volumen de fuste se calculó mediante la fórmula de Smalian (Prodan *et al.*, 1997):

$$V = (g_i + g_s) * L/2$$

Donde:

g_i y g_s = Sección normal de los extremos de la troza
 L = Longitud de la troza

Se trabajó con un modelo polinomial de segundo orden para modelar la estructura de la media de las variables en función de la edad del árbol, por ya existir antecedentes de mejor ajuste para otras especies de la zona (Giménez *et al.*, 2007).

$$y = B_0 + B_1 * Edad + B_2 * Edad^2 + E_0 \quad (3)$$

Donde:

B₀ = Parámetro que representa la ordenada al origen
 B₁ = Parámetro que representa la tasa de cambio en Y frente al cambio de la varible independiente X (edad)
 E₀ = Término de error aleatorio

Se realizó un análisis de varianza no paramétrico y la prueba de *Kruskal Wallis* (Siegel y Castellan, 1988) para las variables IR, DAP y SN para la variable clasificatoria edad.

Resultados y Discusión

La troza presenta duramen reducido, con una contrastante diferencia de color con la albura (Figura 2 A), cuyo espesor

using the smoothing spline method in order to eliminate the climatic variation of the RI series, after modeling the tree growth. A filter based on movable averages for five, seven and 11 year windows (Juárez de Galíndez *et al.*, 2007), and the one with the best adjustment was selected.

The growth tendencies of the species in a particular site were expressed in biological terms. The standardization of the mean growth curve presumes that the shape of the structure at any biological age is independent from the period during which it is produced.

The regression models for RI, BHD, NS, SV and age were analyzed, and the stem volume was estimated using Smalian's formula (Prodan *et al.*, 1997):

$$V = (g_i + g_s) * L/2.$$

Where

g_i and g_s = Normal sections of the log ends
 L = Log length

A second-order polynomial model was used to model the structure of the variable means in terms of the tree age because precedents of a better adjustment for other species in the area already existed (Giménez *et al.*, 2007).

$$y = B_0 + B_1 * Age + B_2 * Age^2 + E_0 \quad (3)$$

Where:

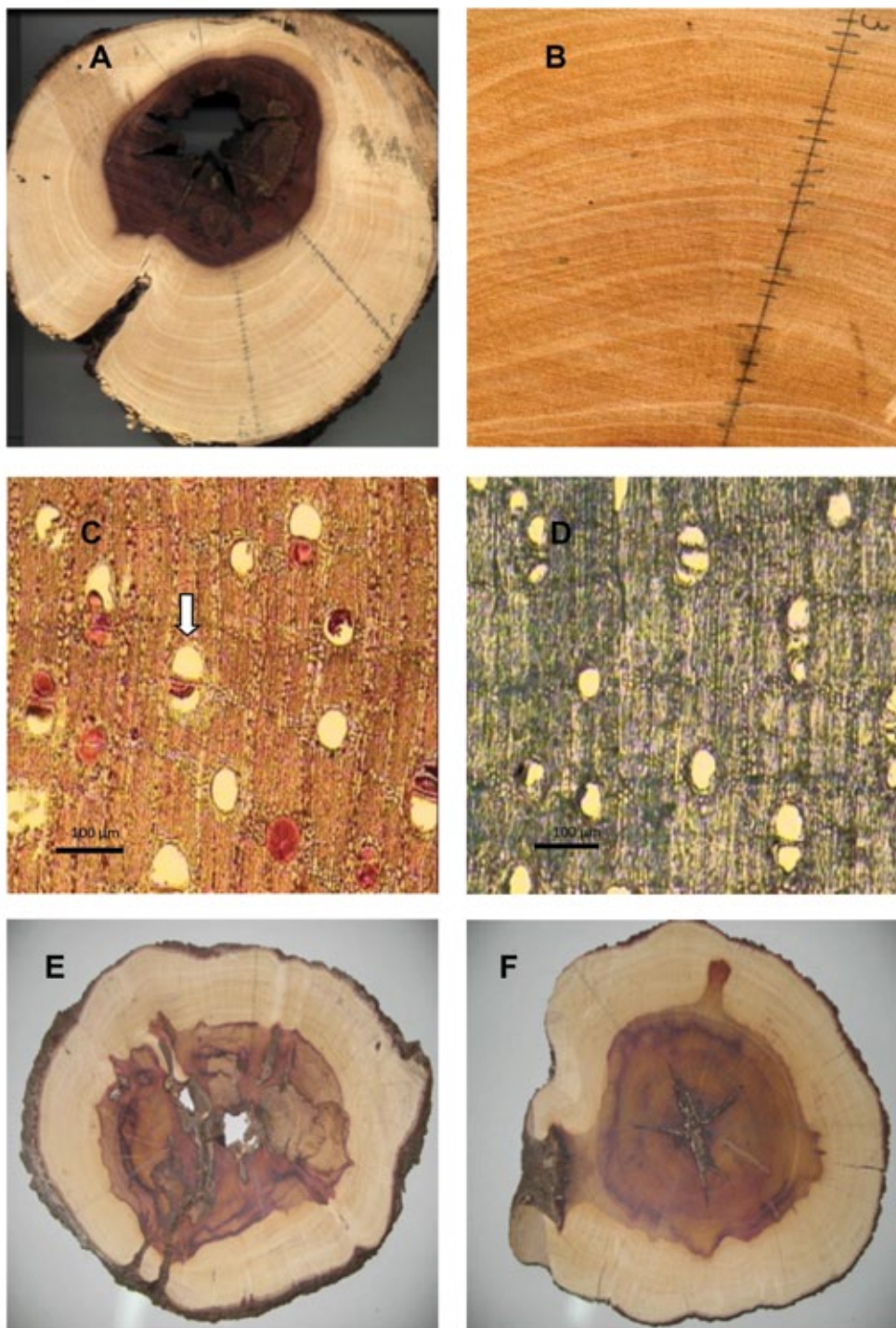
B₀ = Parameter representing the origin ordinate
 B₁ = Parameter representing the rate of change in Y versus the change in the independent variable X (age),
 E₀ = Random error term

A non-parametric variance analysis and a *Kruskal Wallis* test were carried out (Siegel and Castellan, 1988) for the variables RI, BHD and NS for the classification variable age.

Results and Discussion

The log exhibits a narrow heartwood, with a constant difference of color with regard to the sapwood (Figure 2 A), whose thickness represents 75 % of the total stem diameter for an interval of 80 years. The transition from sapwood to heartwood is not simultaneous with the forming of a new ring (Giménez *et al.*, 2014).

The growth rings are moderately demarcated (Figure 2 B) and are defined by a band of fibers with thickened walls (1-3 cell strata) corresponding to Coster's type 3 (Figure 2 C). There is a pore gradation between the early and the late wood. The heartwood vessels are totally occluded by gums, while those



Línea: 100 µm

Figura 2. A) Sección transversal, albura amplia y duramen reducido; B) Definición de anillos a nivel macroscópico; C) Definición microscópica del anillo por una banda de fibras, vasos del duramen ocluidos por gomas; D) Sección transversal de albura con vasos sin oclusión; E y F) Leño con diferentes grados de deterioro.

Figure 2. A) Transversal section, broad sapwood and small heartwood; B) Definition of the rings at a macroscopic level; C) Microscopic Delimitation of the ring by a band of fibers, heartwood vessels occluded by gums; D) Transversal section of the sapwood with unoccluded vessels; E and F) Log with various degrees of deterioration.

representa 75 % del diámetro total del tronco para un intervalo de 80 años. La transición de anillos de albura a duramen no es simultánea con la formación de un nuevo anillo (Giménez *et al.*, 2014).

Los anillos de crecimiento son moderadamente demarcados (Figura 2 B) y están definidos por una banda de fibras de paredes engrosadas (1-3 estratos de células) correspondiente al tipo 3 de Coster (Figura 2 C). Hay gradación de poros entre la madera temprana y la tardía. Los vasos del duramen están ocluidos por gomas en su totalidad y los de la albura son sin oclusión (Figura 2 D) (Giménez *et al.*, 2014).

El espesor promedio de los anillos de crecimiento (IR) para un período de 78 años es de 0.273 cm (0.078-0.952), S: 1,11, CV: 39.9 %. El sector central del fuste exhibe pudrición en 60 % de las rodajas, razón por la cual se dificultó la medición de anillos (Figura 2 E y F). El IR disminuye con la edad y el máximo se produce en los 20 primeros años. El espesor de anillos de mistol corresponde a la categoría "delgados" (entre 2-4 mm) según la tipificación propuesta por Giménez *et al.* (2007a).

El histograma de frecuencias demostró 55 % para las clases entre 0.20 y 0.30 cm (Figura 3 A). El IR registró alta variabilidad y para compensarla se suavizó la curva para tramos de 11 años (Figura 3 B), de lo que resultó el último como el de mejor ajuste a una función polinómica de segundo grado con R² de 0.68 (Figura 3 C). El espesor de los anillos tiene un máximo entre los 10 y los 12 años, para luego decrecer. Este componente es crucial para el cálculo del crecimiento y resume la capacidad biológica de la especie influida por sus características genéticas y su interrelación con el ambiente, lo que explica la gran variación individual de los espesores de anillos.

El DAP se incrementa con la edad y se ajusta a una función polinómica de segundo grado (Figura 3 D). El diámetro mínimo de corta para mistol es de 25 cm, lo que corresponde a una edad promedio de 60 años. Los diámetros máximos frecuentes en la actualidad en el bosque nativo se ubican en la clase diamétrica 0.30- 0.40 m (Thren y Zerda, 1994). Tortorelli (2009) cita diámetros máximos de 0.6 m. y según la función DAP/edad se refiere a una edad estimada de 113 años. Esto significa que el bosque se corta en un estado de pleno crecimiento. En el Cuadro 1 se indican las funciones de las variables dasométricas / edad y sus respectivas ecuaciones.

Cuadro 1. Ecuaciones para las variables dasométricas.

Variable	Ecuación	R ²	Significancia	Cuadrado Medio del Error
IR	$y = -5E-05x^2 + 0.003x + 0.248$	0.68	<0.0001	0.10
DAP	$y = -3.10E-03x^2 + 0.6x - 0.17$	0.90	<0.0001	2.8E-05
SN	$y = 0.06x^2 + 5.22x - 25$	0.84	<0.0001	1.1E-05
VF	$y = 6E-05x^2 + 0.0024x$	0.88	<0.0001	3.1E-03

x = Edad

of the sapwood have no occlusion (Figure 2 D) (Giménez *et al.*, 2014).

The average thickness of the growth rings (RI) for a period of 78 years is 0.273 cm (0.078- 0.952), S: 1,11, VC: 39.9 %. The stem core exhibits rotting in 60 % of the slices, which makes it difficult to measure the rings (Figure 2 E and F). The RI decreases with age, and the maximum RI occurs during the first 20 years. The thickness of mistol rings corresponds to the "thin" category (between 2-4 mm) according to the classification proposed by Giménez *et al.* (2007a).

The frequency histogram shows 55 % for the classes between 0.20 and 0.30 cm (Figure 3 A). The RI registered a high variability, in order to compensate which the curve was smoothed for 11 periods (Figure 3 B); thus, the last period was the best adjusted for a second-degree polynomic function with a R² of 0.68 (Figure 3 C). Rings reach their maximum thickness between the ages of 10 and 12 years, after which they start to decrease. This component is crucial for growth estimation and summarizes the biological capacity of the species --influenced by the genetic characteristics of the latter and its interrelation with the environment--, which accounts for the large variation in ring thicknesses between individuals.

DBH increases with age and is adjusted for a second-degree polynomic function (Figure 3 D). The minimum logging diameter for mistol is 25 cm, corresponding to an average age of 60 years. The maximum diameters that are frequent today in the native forest range from 0.30 to 4.0 m (Thren and Zerda, 1994). Tortorelli (2009) quotes minimum diameters of 0.6 m, and according to the BHD/age function, he refers to an estimated age of 113 years. This means that the forest is logged when the trees are at their full growth stage. Table 1 shows the functions of the mensuration variables / age and their respective equations.

In the analysis of the evolution of the BHD / age per site, the ANOVA revealed significant differences in the Kruskal Wallis test (Table 2). Site 2 exhibited the largest BHD at the studied ages.

The normal section (NS) evolves with the age and adjusts for a second-degree polynomic function (Figure 3 E). The stem volume adjusts for a second-degree polynomic equation with

Table 1. Equations for the dasometric variables.

Variable	Equation	R ²	Significance	Error Mean Square
RI	$y = -5E-05x^2 + 0.003x + 0.248$	0.68	<0.0001	0.10
BHD	$y = -3.10E-03x^2 + 0.6x - 0.17$	0.90	<0.0001	2.8E-05
NS	$y = 0.06x^2 + 5.22x - 25$	0.84	<0.0001	1.1E-05
SV	$y = 6E-05x^2 + 0.0024x$	0.88	<0.0001	3.1E-03

x= Age

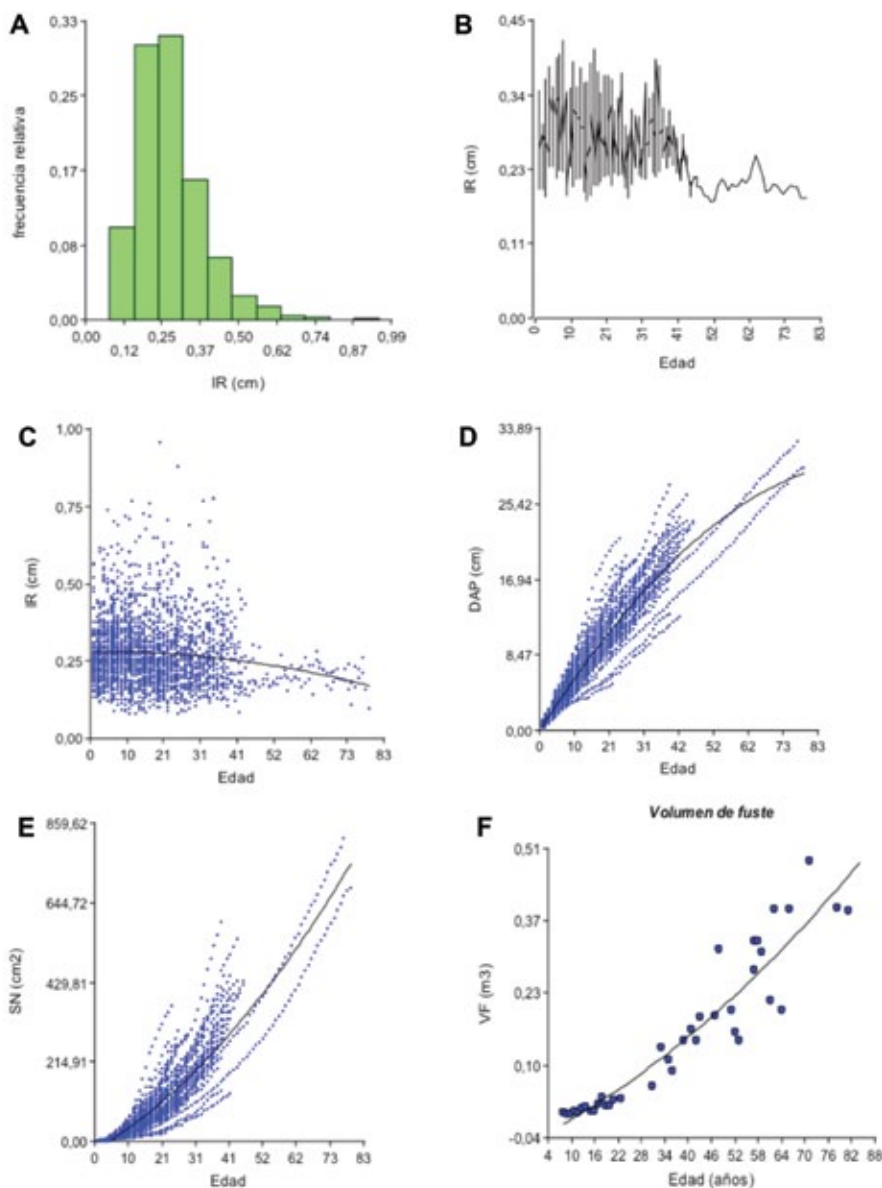


Figura 3. A) Distribución de frecuencia de IR; B) Curva suavizada de IR; C) Ajustes IR y edad; D) DAP en función de la edad; E) Sección normal y edad; F) Volumen de fuste y edad.

Figure 3. A) RI frequency distribution; B) Smoothed RI curve; C) RI and age adjustments; D) BHD in terms of age; E) Normal section and age; F) Stem volume and age.

Al analizar la evolución del DAP/edad por sitio, el ANAVA reveló diferencias significativas en la prueba de *Kruskal Wallis* (Cuadro 2). El sitio 2 presenta mayor DAP a las edades estudiadas.

La sección normal (SN) evoluciona con la edad y ajusta a una función polinómica de segundo grado (Figura 3 E). El volumen de fuste ajusta a una ecuación polinómica de segundo grado con $R^2 = 0.8813$ (Figura 3 F). Se estima a los 80 años un volumen de fuste de 0.48 m³.

Se calcularon el IMA y el IA para las variables DAP, SN y VF. Para el DAP las curvas se interceptaron a la edad de 13 años (Figura 4 A). El máximo de incremento medio es de 0.56 cm, y el mínimo de 0.44 cm para 79 años. Las curvas de IMA e IA en SN y VF no se interceptarían hasta los 80 años (edad máxima estudiada) (Figura 4 B).

El tiempo de tránsito para clases diamétricas (Figura 4 C) varía entre 10 y 13 años, y los tramos de mayor amplitud a partir de los 20 cm (edad estimada de 42 años).

$R^2 = 0.8813$ (Figure 3 F). The stem volume at 80 years of age is estimated in 0.48 m³.

Cuadro 2. Prueba de *Kruskal Wallis* para DAP.

Variable	Sitio	Medias	D. E.*	Medianas	<i>Kruskal Wallis</i>
DAP (cm)	1	7.98	6.09	6.76	A
DAP (cm)	2	9.64	6.33	8.81	B

*D. E. = Desviación estándar

Table 2. *Kruskal Wallis* test for BHD.

Variable	Site	Means	S. D.*	Means	<i>Kruskal Wallis</i>
BHD (cm)	1	7.98	6.09	6.76	A
BHD (cm)	2	9.64	6.33	8.81	B

*S. D. = Standard deviation

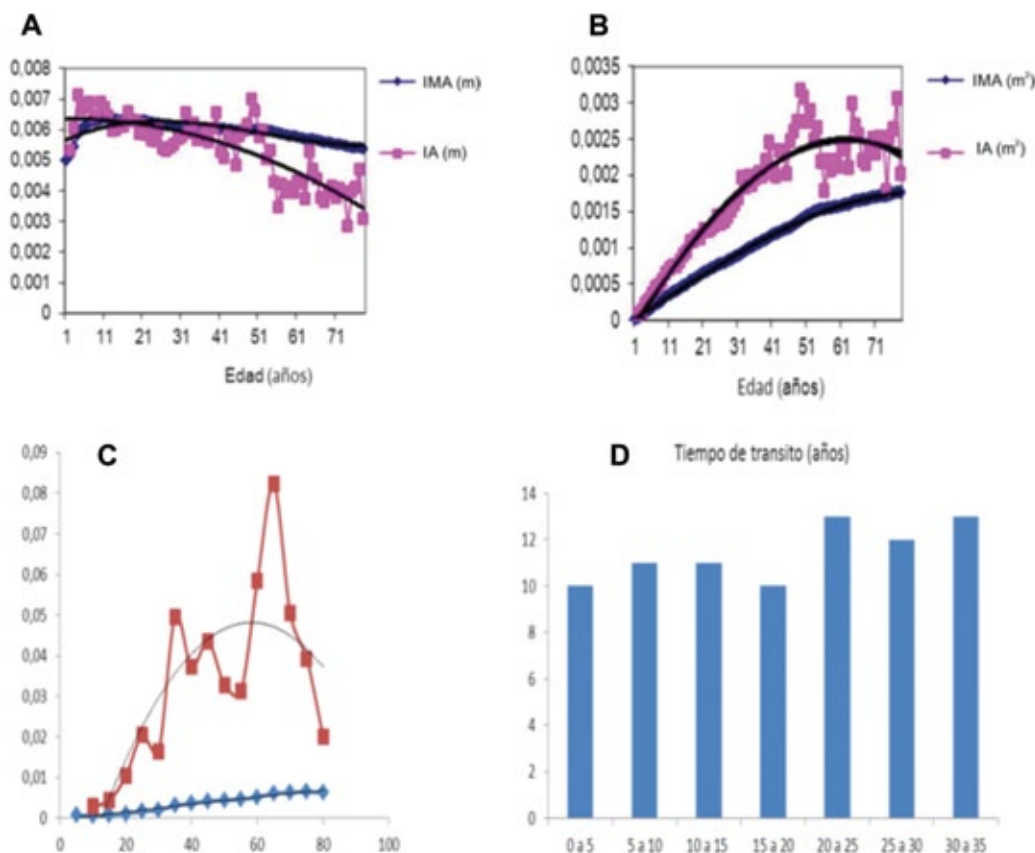


Figura 4. A) IMA e IA en función del DAP; B) IMA e IA en SN; C) IMA e IA en VF; D) Tiempo de tránsito de clases diamétricas.

Figure 4. A) MAI and AI in terms of the BHD; B) MAI and AI in NS; C) MAI and AI in SV; D) Transit times in relation to diametric classes.

Según la tabla de volumen construida para mistol (PIARFON, 2005) se estiman para un DAP de 50 cm, un volumen fuste de 0.797 m³ y una edad estimada de 93 años.

Es interesante comparar las características bioecológicas del mistol en referencia a otras especies de la región chaqueña. Existen estudios de IR para las siguientes especies: *Prosopis alba* con anillos de 4.05 mm (2.11-5.18) (Giménez *et al.*, 1999); *Prosopis kuntzei* Harms. 3.26 mm (1.9-4.5) (Giménez *et al.*, 1997); *Schinopsis quebracho-colorado* (Schltdl.) Bark. & T. Mey., 2.19 mm (1.6-4.5) (Giménez y Ríos, 1999).

Entre las especies de crecimiento medio en la región chaqueña seca destacan: *Prosopis nigra* con valores promedio de 3.289 mm (Giménez *et al.*, 2000 b); *Geoffroea decorticans* con 5.90 mm (Giménez *et al.*, 2013) y 5.66 mm para *Prosopis ruscifolia* Griseb. (Giménez *et al.*, 2009).

El mistol, el quebracho colorado santiagueño y el quebracho blanco forman el grupo de las especies de crecimiento lento con anillos de crecimiento tipo 2 (entre 2-4 mm de espesor promedio) (Giménez *et al.*, 2007).

El turno de corta calculado para la SN y VF sería posterior a los 80 años. El estado sanitario es deficiente a tales edades, por lo que conviene la cosecha entre 20 y 25 cm de DAP.

Juárez *et al.* (2006) modelaron la relación altura/DAP a partir de 122 árboles distribuidos en 30 parcelas de monte nativo. La función hiperbólica de Prodan mostró el mejor ajuste. Giménez *et al.* (2003 b), Gaillard de Benítez (1994), Benítez *et al.* (1988) y Gaillard de Benítez *et al.* (2002) lograron un ajuste con una función polinómica de segundo grado, al trabajar con especies como el algarrobo negro, entre otras.

Araujo *et al.* (2007) determinaron un incremento radial medio para clases diamétricas para un intervalo entre 5-35 cm, valores que varían de 0.170 a 0.245 cm, en un bosque en regeneración. Este valor concuerda con el promedio de espesor de anillos del presente estudio. Los mayores crecimientos se registraron para las especies principales, entre los cuales el primer lugar lo ocupa el quebracho blanco, seguido por el quebracho colorado, el mistol y el algarrobo negro.

En cuanto a la edad de culminación biológica en IR, para *P. ruscifolia* (11 años) es muy inferior a *P. alba* a los 74 años (Juárez de Galíndez *et al.*, 2005) o *P. flexuosa* 35 años (Perpiñal *et al.*, 1995). En mistol el máximo de IR se obtiene entre los 10 y los 12 años.

Fundapaz (2004) establece un plan de manejo para monte modelo del chaco santafecino, un tiempo de tránsito de 10 años, para un área basal de 10 m³ ha⁻¹. Estos valores concuerdan con los tiempos de tránsito para mistol y vinal (*Prosopis ruscifolia*).

The MAI and AI were estimated for the variables BHD, NS and SV. For the BHD, the curves were intercepted at the age of 13 years (Figure 4 A). The maximum mean increase is 0.56 cm, and the minimum mean increase is 0.44 cm for the age of 79 years. The MAI and AI curves in NS and SV did not intercept until the age of 80 years (maximum studied age) (Figure 4 B).

The transit time for diametric classes (Figure 4 C) varies between the ages of 10 and 13 years, and the stretches become wider after 20 cm (estimated age of 42 years).

According to the volume table built for mistol (PIARFON, 2005), a stem volume of 0.797 m³ is estimated for a BHD of 50 cm and an age of 93 years.

It is interesting to compare the bioecological characteristics of mistol in regard to other species of the Chaco region. There are IR studies for the following species: *Prosopis alba* with 4.05 mm rings (2.11-5.18) (Giménez *et al.*, 1999); *Prosopis kuntzei* Harms. 3.26 mm (1.9-4.5) (Giménez *et al.*, 1997); *Schinopsis quebracho-colorado* (Schltdl.) Bark. & T. Mey., 2.19 mm (1.6-4.5) (Giménez and Ríos, 1999).

Prominent among the species of medium growth in the Chaco region are: *Prosopis nigra* with average values of 3.289 mm (Giménez *et al.*, 2000 b); *Geoffroea decorticans* with 5.90 mm (Giménez *et al.*, 2013), and *Prosopis ruscifolia* Griseb. with 5.66 mm (Giménez *et al.*, 2009).

Mistol, red quebracho of Santiago and white quebracho form the group of the slow growth species with type 2 growth rings (with an average thickness of 2 to 4 mm) (Giménez *et al.*, 2007).

The logging calculated for the NS and SV is to take place after the trees attain an age of more 80 years. The health status is deficient at such an age, and therefore harvesting at a BHD between 20 and 25 cm is recommended.

Juárez *et al.* (2006) modeled the height/BHD ratio from 122 trees distributed among 30 native forest plots. The hyperbolic function of Prodan exhibited the best adjustment. Giménez *et al.* (2003b), Gaillard de Benítez (1994), Benítez *et al.* (1988) and Gaillard Benítez *et al.* (2002) achieved adjustment with a second-degree polynomial function when working with black carob and other species.

Araujo *et al.* (2007) determined a mean radial increase for diametric classes for an interval between 5 and 35 cm, with values ranging between 0.170 and 0.245 cm in a forest in regeneration; these values agree with the average ring thickness found in the present study. The largest growths were registered for the main species, among which white quebracho occupies the first place, followed by red quebracho, mistol and black carob.

Si bien el IMA e IA en SN y VF no se interceptan hasta los 80 años, el estado sanitario a DAP a partir de 30 cm es deficiente por el ataque de hongos no determinados. Posiblemente un duramen reducido en la especie (Giménez *et al.*, 2014) retarda el proceso de duraminización. Se inicia a partir de los 12 años, pero la transformación de albura en duramen no es simultánea, como sucede con las otras especies. La consecuencia es una albura muy desarrollada y un duramen escaso, lo que influye en su sanidad. En general los individuos estudiados manifestaron numerosas alteraciones en el fuste.

El espesor de la albura tiene importantes implicaciones económicas en el aprovechamiento de una especie. Al DAP de 20 cm, el espesor de la albura en *Schinopsis quebracho-colorado* equivale a 15 % del diámetro; en *P. alba*, 8 % y en *P. kuntzei* 10 % (Giménez *et al.*, 2000a). Esta proporción disminuye al aumentar el DAP. En mistol el espesor de la albura corresponde a 75 % del diámetro del tronco, para un intervalo de 80 años (Giménez *et al.*, 2014).

En especies de crecimiento medio a rápido (anillo tipo 3: 4-8 mm) como el chañar (*Geoffroea decorticans*), algarrobo negro y el vinal, el tiempo de tránsito es entre cinco y siete años (Giménez *et al.*, 2014).

Según Brassiolo (2004), la proporción de individuos con problemas de sanidad aumenta rápidamente con el diámetro. Los fustes de quebracho blanco y colorado con un DAP > 30 cm presentan problemas sanitarios en 50 % de los casos, aproximadamente.

Las especies secundarias también pueden tener serios problemas de sanidad, a tal punto que solo es posible su utilización como leña. En bosques degradados donde estas especies participan numerosamente en la estructura del bosque, conviene fijar un diámetro de corta bajo para disminuir su incidencia, y liberar espacio para el buen desarrollo de individuos de las especies principales. Al combinar consideraciones de sanidad con necesidades industriales se proponen los diámetros mínimos de corta de 35 cm para especies principales y para secundarias, 25 cm (Brassiolo y Grulke, 2008).

Conclusiones

Ziziphus mistol exhibe anillos de crecimiento delgados (0.273 cm promedio) que disminuyen con la edad.

El IA e ICA en SN y volumen de fuste no se interceptan en el intervalo de edad estudiado.

Por el estado sanitario deficiente mostrado por los individuos estudiados y la presencia de duramen reducido, la cosecha deberá hacerse en turnos cortos, cuando el DAP sea alrededor de los 25 cm. 🍂

The age of biological culmination in terms of RI for *P. ruscifolia* (11 years) is much lower than for *P. alba* (74 years) (Juárez de Galíndez *et al.*, 2005) or *P. flexuosa* (35 years) (Perpiñal *et al.*, 1995). The maximum RI for mistol is attained between the ages of 10 and 12 years.

Fundapaz (2004) establishes a management for a model hill forest in the *Santa Fe Chaco*, a transit time of 10 years, for a baseline area of 10 m³ ha⁻¹. These values agree with the transit times for mistol and vinal (*Prosopis ruscifolia*).

Although the MAI and AI in NS and SV do not intercept until the age of 80 years, the health status from the moment the tree reaches a BHD of 30 cm is deficient due to attack by undetermined fungi. The occurrence of a narrow heartwood in the species (Giménez *et al.*, 2014) may delay the heartwood forming process. This begins at the age of 12 years, but the transformation of sapwood into heartwood is not simultaneous as in other species. The consequence is a largely developed sapwood with a narrow heartwood, which has an impact on the tree's health. In general, the studied individuals manifested numerous alterations in their stem.

The thickness of the sapwood has significant economic implications for the exploitation of a species. At a BHD of 20 cm, the thickness of the sapwood in *Schinopsis quebracho-colorado*, amounts to 15 % of the diameter; to 8 % in *P. alba*, and to 10 % in *P. kuntzei* (Giménez *et al.*, 2000a). This proportion diminishes as the BHD increases. In mistol, the thickness of the sapwood amounts to 75 % of the stem diameter for an interval of 80 years (Giménez *et al.*, 2014).

In species with medium to rapid growth (type 3 ring: 4-8 mm), such as the chanar or Chilean palo verde (*Geoffroea decorticans*), black carob and vinal, the transit time ranges between five and seven years (Giménez *et al.*, 2014).

According to Brassiolo (2004), the proportion of individuals with health problems increases rapidly with the diameter. The stems of the white and red quebracho with a BHD > 30 cm have health issues approximately in 50 % of the cases.

The secondary species may also have serious health issues, to the point that they can only be used as firewood. In degraded forests whose structure includes a large number of trees of these species, it is advisable to set a low logging diameter in order to reduce their incidence and to free space for the proper development of individuals of the main species. Combining health considerations and industrial needs, minimum logging diameters of 35 cm are suggested for the main species, and 25 cm for the secondary species (Brassiolo and Grulke, 2008).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Ana María Giménez: diseño del trabajo, toma de muestras, procesamiento de datos, documentación bibliográfica y redacción del manuscrito; Norfol Ríos: toma de muestras, revisión del manuscrito; Patricia Hernández: toma de datos, análisis de datos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento por el financiamiento recibido a través del CICYT UNSE Santiago del Estero, Argentina y otorgado al proyecto "Ecoanatomía y biodiversidad en ambientes del Chaco Argentino".

Referencias

- Aniol, R. 1991. Computer aided tree rings analysis system, user manual. Schleswig, Federal Republic of Germany, 31 p.
- Araujo, P., M. Juárez de Galíndez y M. Iturre. 2007. Crecimiento de las especies principales de un bosque en regeneración del Chaco Santiaguense. *Quebracho* 14: 36-46.
- Benítez, C. G. de, M. Pece y J. Ferrari. 1988. Determinación de curvas de altura en función del diámetro en parcelas experimentales de álamos de la Estación Experimental San Carlos (Departamento Banda, Santiago del Estero). In: *Memorias del VI Congreso Forestal Argentino*. Santiago del Estero, Argentina. Tomo I. pp. 89-95.
- Brassiolo, M. 2004. Zur Bewirtschaftung degradierter Wälder im semiariden Chaco Nordargentiniens unter Berücksichtigung der traditionellen Waldweide. *Freiburger Forstliche Forschung*. Freiburg, Deutschland. Band 14. 120 p.
- Brassiolo M. y M. Grulke. 2008. Manual de buenas prácticas para el manejo del bosque nativo en la región chaqueña. http://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/cap3_brassiolo.pdf (10 de noviembre de 2013).
- Clutter, J. L., J. C. Forston, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. *Timber management: a quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 333 p.
- Fundación para el Desarrollo en Justicia y Paz (Fundapaz). 2004. Plan de manejo en la cuña boscosa santafesina. http://www.fundapaz.org.ar/files/content/0/119/021_a_rea_%E1reas%20de%20manejo.pdf (21 octubre de 2013).
- Gaillard de Benítez, C. 1994. Funciones para estimar volumen comercial de árboles en dependencia del diámetro y la altura total en cuatro especies del Bosque Chaqueño Seco. *Quebracho* 2: 71-74.
- Gaillard de Benítez, C., M. Pece, M. Juárez de Galíndez, A. Maldonado, V. H. Acosta y A. Gómez. 2002. Biomasa aérea de ejemplares de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño seco. *Quebracho* 9: 115-127.
- Giménez, A., N. Ríos y J. G. Moglia. 1997. Leño y corteza de *Prosopis kuntzei* en relación a algunas magnitudes dendrométricas. *Revista de Investigaciones Agrarias, Sistemas y Recursos Forestales* 6 (1-2): 163-182.
- Giménez, A. y N. Ríos. 1999. Crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado*, Anacardiaceae. *Madera y Bosques* 5 (2): 35-51.
- Giménez, A., N. Ríos, G. Moglia y C. López. 1999. Leño y corteza de *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. *Bosque* 19 (2): 53-62.
- Giménez, A., N. Ríos y J. G. Moglia. 2000a. Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca. *Quebracho*. 8: 56-63.

Conclusions

Ziziphus mistol exhibits thin growth rings (0.273 cm in average) that diminish with age.

The MAI and AI in NS and stem volume do not intercept during the studied age interval.

Due to the deficient health status of the studied individuals and to the presence of a narrow heartwood, the harvesting must be carried out in short turns when the BHD is approximately 25 cm.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Ana María Giménez: study design, sampling, data processing, bibliographical documentation, and writing of the manuscript; Norfol Ríos: sampling, reviewing of the manuscript; Patricia Hernández: sampling, data analysis.

Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude for the funding granted by CICYT UNSE, Santiago del Estero, Argentina, to the project "Ecoanatomy and biodiversity in Argentinian Chaco environments".

End of the English version

- Giménez, A., G. Moglia, P. Hernández y S. Bravo. 2000b. Leño y corteza de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron., Mimosaceae, en relación a algunas magnitudes dendrométricas. *Revista Forestal Venezolana* 44 (2): 29-37.
- Giménez, A. y J. G. Moglia. 2003. Árboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico. Ed. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Desarrollo Social y Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. Santiago del Estero, Argentina. 307 p.
- Giménez, A. M. y J. G. Moglia. 2003a. Árboles del Chaco Argentino. Facultad de Ciencias Forestales. UNSE. Santiago del Estero, Argentina. 380 p.
- Giménez, A., P. Hernández, R. Gerez y N. A. Ríos. 2007. Diversidad vegetal en 7 unidades demostrativas del Chaco semiárido argentino. *Madera y Bosques* 13 (1): 61-78.
- Giménez, A. M., P. Hernández, R. Gerez y C. Spagarino. 2007a. Anatomía de leño y anillos de crecimiento de Palo Santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb Zygophyllaceae). *Quebracho* 14: 23-35.
- Giménez, A. M., J. G. Moglia, P. Hernández y R. Gerez. 2007b. Parámetros de calidad en maderas nativas del Chaco Argentino. In: *Memorias del III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales*. Iberomadera. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-14.
- Giménez, A. y P. Hernández. 2008. Biodiversidad en ambientes naturales del Chaco Argentino. *Vegetación del Chaco Semiárido*, Provincia de Santiago del Estero. FONCYT. FCF-UNSE. Santiago del Estero, Argentina. Fascículo 1. 120 p.

- Giménez, A., N. Ríos, P. Hernández y J. G. Moglia. 2009. Influencia de la edad en el crecimiento de vinal (*Prosopis rusCIFolia* Burkart.) en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Madera y Bosques* 15 (2): 45-57.
- Giménez, A. M., P. Hernández, R. Gerez, M. E. Figueroa, I. Barrionuevo y F. Calatayu. 2010. Los arbustos útiles de los bosques del Chaco Semiárido. *Eco Productos Forestales No Madereros. Libro de Actas*. Buenos Aires, Argentina. pp. 66- 77.
- Giménez, A., P. Hernández, N. Ríos y F. Calatayu. 2013. Crecimiento de árboles individuales de *Geoffreea decorticans* Burk. en un bosque del Chaco semiárido, Argentina. *Madera y Bosques* 19(1):37-51.
- Giménez, A. M., M. E. Figueroa, J. Díaz Zirpolo, B. Agüero y F. Calatayu. 2014. Anatomía del leño de *Ziziphus mistol* Griseb. (Rhamnaceae). Relación albura/duramen. *Quebracho* 22 (1): 81-89.
- Juárez de Galíndez, M., A. M. Giménez, N. Ríos y M. Balzarini. 2007. Modelación del crecimiento en diámetro de vinal (*Prosopis rusCIFolia*), en Santiago del Estero, Argentina. *Foresta Veracruzana* 9 (2): 9- 15.
- Juárez de Galíndez, M., G. Pece, C. Gaillard de B., J. Sanguedolce, V. Mariot y R. Mazzuca. 2006. Ecuaciones altura-diámetro para *Ziziphus mistol* Griseb. en Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho* 13: 36-43.
- Juárez de Galíndez, M., A. M. Giménez, N. Ríos y M. Balzarini. 2005. Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos. *Quebracho* 12:34- 43.
- Komin, G. 1987. Methods of calculation of growth indices for trees of different age in totality. Unpublished research report methods. *Forest Science* 41 (1): 7-42.
- Návar Ch., J. J. y P. Domínguez C. 2013. Modelo de incremento y rendimiento: ejemplos y aplicaciones para bosques templados mexicanos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(18): 8-26.
- Peng, C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management* 132 (2): 259-279.
- Perpiñal, E., M. Balzarini, L. Catalán, L. Pietrarelli y U. Karlin. 1995. Edad de culminación del crecimiento en *Prosopis flexuosa* DC. en el Chaco Árido Argentino. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 4(1): 45-55.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. *Mensura Forestal*. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.
- Proyecto Investigación Aplicada (Piarfon). 2005. Informe final. Proyecto Bosques Nativos Chaco Semiárido. Capítulo IV. Punto3.- Inventario. Proyecto Bosque nativos y áreas Protegidas BIRF 4085- Ar. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2003. Atlas de Bosques Nativos. Buenos Aires, Argentina. pp. 428-450.
- Roth, I. and A. Giménez B. 1997. Argentine Chaco forests. Dendrology, tree structured and economic use.1- The semiarid Chaco. *Encyclopedia of Plant Anatomy. XIV/5*. Gerbruder-Borntraeger-Berlin-Stuttgart. <http://fcf.unse.edu.ar/insima/lam/Html/publicaciones.htm> (13 de noviembre de 2014)
- Siegel, S. and Jr. N. J. Castellan. 1988. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. McGraw-Hill Co. New York, NY, USA. 399 p.
- Stokes, M. and T. Smiley. 1978. *An introduction to tree rings dating*. University of Chicago Press. Chicago, IL, USA. 120 p.
- Thren, M. y H. Zerda. 1994. Inventario forestal de la Provincia de Santiago del Estero, Departamentos Copo y Alberdi. Convenio: Provincia de Santiago del Estero, Consejo Federal de Inversiones CFI, UNSE, GTZ y Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero, Argentina. 114 p.
- Tortorelli, L. 2009. *Maderas y bosques argentinos*. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. Tomo 1 y 2. 1105 p.
- Vanclay, J. K. 1995. *Growth models for tropical forest: a synthesis of models and methods*. New York, NY, USA. 333 p.

