

VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD Y CONTRACCION VOLUMETRICA DE LA MADERA DE PROSOPIS

E. PERPIÑAN
L. PIETRARELLI

Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Córdoba
C.C. 509, 5000 Córdoba - ARGENTINA

RESUMEN

En madera de *Prosopis flexuosa* y *Prosopis nigra* del oeste de la Póvincia de Córdoba (Chaco árido argentino) se determinaron la densidad y contracción volumétrica.

Se analizó la variabilidad de estas propiedades en función de factores fijos tales como especie y altura a lo largo del fuste y en *Prosopis flexuosa* se diferenció si los árboles provenían de semilla o de rebrote de cepa.

Los resultados mostraron diferencias significativas a nivel de $\alpha = 0,10$ para la parte basal y central del fuste.

La mayor variabilidad se observó entre árboles de la misma especie. No se encontraron diferencias significativas entre las dos especies estudiadas, ni entre orígenes diferentes en la misma especie.

Los datos muestran alta densidad y excelente estabilidad dimensional.

PALABRAS CLAVE: *Prosopis*
madera
densidad
contracción volumétrica
variabilidad

INTRODUCCION

El algarrobo (*Prosopis sp.*) es el principal componente forestal del Chaco árido argentino (Tártara, Coirini, 1987).

Esta región se caracteriza por tener un índice de evapotranspiración potencial menor de -20 y escasa precipitación, cuyo promedio es de 400 mm.

El aprovechamiento del recurso forestal se destina a leña y carbón y en menor medida a postes, rodrigones y varillas, sin utilizarlo para otros fines maderables.

El estudio de las propiedades físicas de las principales especies de *Prosopis* en la zona, *Prosopis flexuosa* y *Prosopis nigra*, y de distintos orígenes, semilla y rebrote de cepa, brindaría información sobre la calidad de la madera. Esto puede contribuir a orientar su uso, generando alternativas industriales que suministren valor agregado al material leñoso.

Recibido: 11-12-91.

Aceptado para su publicación: 8-4-92.

Invest. agrar., Sist. recur. for. Vol. 1(2), 1992

Reconociendo el alto grado de variabilidad en las propiedades de la madera, debido a su constitución como producto del metabolismo del árbol y la acción de factores naturales externos (Cuevas *et al.*, 1985), se plantea el estudio de la densidad y contracción volumétrica considerando en las hipótesis de trabajo la variabilidad entre especies del mismo género, entre diferentes orígenes, entre árboles de la misma especie y dentro de cada árbol en función de la altura del fuste.

ANTECEDENTES

Los antecedentes respecto a las características tecnológicas de la madera de algarrobo, son muy generales y escasos. Incluyen en general algunos valores puntuales de las propiedades físicas y tipificaciones cualitativas (D' Antoni, 1986; Galante, 1953; García Sola *et al.*, 1965; Leonardis, 1948; Tortorelli, 1956; Tuset, Duran, 1979), no encontrándose referencias particulares sobre las propiedades de la madera de algarrobo en el Chaco Arido.

Con respecto a la variabilidad de las propiedades de la madera entre diferentes especies, Roger (1980) en Texas, comparó el Mesquite (*Prosopis glandulosa*) con especies de otros géneros, encontrando buena estabilidad dimensional y propiedades físicas y mecánicas que la caracterizan como una de las maderas más duras de los Estados Unidos.

Las investigaciones realizadas por Cuevas (*op. cit*) en la Pampa del Tamarugal, Chile, muestran variaciones provenientes de diferentes especies de un mismo género (*Prosopis tamarugo* y *Prosopis alba*), y entre árboles de una misma especie con diferentes edades.

En lo referente a la variabilidad a lo largo del fuste, Houkal *et al.* (1985), mencionan para *Pinus oocarpa* una variación decreciente de la densidad específica, hacia arriba, en el tronco.

Asimismo, Bolzón de Muñiz (1985), estudiando varias especies forestales, afirma que a lo largo del tronco existen variaciones de la densidad con máximos en la base, decreciendo a medida que se acerca a la copa. También verifica variaciones en el sentido radial, aumentando desde la médula hacia la corteza.

Bonavia de Guth y Piussan (1987) trabajando con *Salix nigra*, en el Delta del Paraná, Argentina, encuentran que el comportamiento decreciente de la densidad observado por varios autores para *Piceas*, no se ajusta a *Salicaceas*, como así tampoco el aumento de la densidad desde médula a corteza.

OBJETIVOS

- Obtener los valores de densidad y contracción volumétrica para las especies y orígenes en estudio.
- Analizar la variación de la densidad y contracción volumétrica en *Prosopis flexuosa* con origen semilla y origen rebrote de cepa.
- Analizar la variación de la densidad y contracción volumétrica en *Prosopis flexuosa* y *Prosopis nigra*.
- Analizar la variabilidad de la densidad y contracción volumétrica en distintos árboles de la misma especie.
- Analizar la variación de la densidad y contracción volumétrica a distintas alturas de fuste.

MATERIAL Y METODOS

Muestreo

El material de estudio se obtuvo del Oeste del Departamento Pocho, Provincia de Córdoba, 31° 50' de latitud sur y 65° 36' de longitud oeste, en un sitio representativo de la población de *Prosopis* de la zona. Se seleccionaron las dos especies predominantes, *Prosopis flexuosa* y *Prosopis nigra*. La identificación se realizó a partir de los datos suministrados por los productores locales y la observación anatómica externa de la corteza (Karlin, 1988; Vervoorst, 1954). Dentro de los *Prosopis flexuosa* se distinguieron los originados por semilla y por rebrotes de cepa.

De cada nivel (especie y origen) se eligieron tres árboles al azar de aquéllos con un diámetro altura de pecho de 20 cm. y altura no inferior a 130 cm.

De cada fuste seleccionado se cortaron rodajas de 15 cm. de altura, a diferentes alturas de fuste: parte basal, a los 60 cm. y a los 120 cm.

De cada rodaja se tomaron al azar 24 probetas de 20×20×20 mm, con las que se realizaron los ensayos de densidad y contracción volumétrica.

Para la determinación del número de probetas del ensayo, se tuvo en cuenta el coeficiente de variación para la densidad y contracción (Tabla de coeficientes de variación para propiedades de la madera de Norma ISO 3129).

Tratamiento de los datos

El diseño experimental utilizado es multifactorial con anidamiento y cruzamiento de factores, con nivel (sp) y altura (alt) como factores fijos, y árbol (arb) como factor aleatorio. El árbol está anidado en la especie y la altura está cruzada con los árboles.

La ecuación del modelo para las variables medidas es la siguiente:

$$y = \mu + sp_i + arb_{j(i)} + alt_k + alt * arb_{k j(i)} + El_{k j i}$$

con $i = 1, 2, 3$

$j = 1, 2, 3$

$k = 1, 2, 3$

$l = 1, 2, \dots, 24$ repeticiones.

[1]

Previo al análisis, se comprobó la homogeneidad de la varianza y la distribución normal de los datos.

Resultando válidos los supuestos, se plantearon las siguientes hipótesis:

1) No existen diferencias en la densidad y contracción volumétrica en la especie *Prosopis flexuosa*, según el origen sea semilla o rebrote.

2) No existen diferencias en la densidad y contracción volumétrica entre las especies *Prosopis flexuosa* y *Prosopis nigra*.

3) No existen diferencias en la densidad y contracción volumétrica entre árboles de la misma especie.

4) La densidad y contracción volumétrica tomadas a distintas alturas de un árbol son las mismas.

Estas hipótesis se comprobaron con los análisis de varianza correspondientes. El cálculo del estadístico F se hizo de acuerdo al modelo, con las siguientes ecuaciones: (Montgomery, 1966).

$$\text{Para especie (sp)} \quad F = \text{CM (sp)} + \text{CM (error)} / (\text{CM (arb)} + \text{CM (arb} \times \text{alt)}) \quad [2]$$

$$\text{Para altura (alt)} \quad F = \text{CM (alt)} / \text{CM (alt} \times \text{arb)} \quad [3]$$

$$\text{Para árbol (arb)} \quad F = \text{CM (arb)} / \text{CM (error)} \quad [4]$$

$$\text{Para arb} \times \text{alt} \quad F = \text{CM (arb} \times \text{alt)} / \text{CM (error)} \quad [5]$$

Mediciones realizadas

Se determinó la densidad aparente de la madera en las condiciones: normal, seca anhidra y saturada. Se considera condición normal al estado de las probetas mantenidas en cámara de climatización a $T \ 20^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ y humedad relativa ambiente de $\text{HR} = 65 \text{ p. } 100 \pm 5 \text{ p. } 100$ hasta peso constante, es decir cuando dos pesadas consecutivas, efectuadas con un intervalo no inferior a seis horas, difieren en menos de $0,1 \text{ p. } 100$ de su peso.

Se considera el estado seco anhidro cuando las probetas han perdido todo el agua retenida que contienen. Este estado se adquiere manteniéndolas en estufa con circulación de aire a $102^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ de temperatura, hasta llegar a peso constante.

El estado saturado se alcanza con las probetas sumergidas completamente en agua hasta sobrepasar la humedad del punto de saturación de la fibra (PSF).

El peso se determinó en balanza electrónica con precisión de $0,01 \text{ gr}$.

La medición de volumen se realizó por el método de inmersión, determinando el peso de fluido desalojado, a temperatura ambiente.

Con mercurio se determinó el volumen en estado normal y seco, mientras que para el estado saturado se utilizó agua como líquido de inmersión. En cada medida se corrigió por temperatura el valor de la densidad del fluido.

Densidad aparente

Se calcularon por las siguientes fórmulas

$$D_u = \frac{P_u}{V_u} \quad \text{densidad aparente} \quad [6]$$

Siendo estos valores correspondientes a las densidades aparentes reales, es decir el peso (P_u) y volumen (V_u) en el mismo estado de humedad ($u = n$, normal; $u = a$, anhidra y $u = s$, saturado).

Además se calculó la densidad aparente básica donde se relaciona el peso seco anhidro con el volumen saturado (Kollmann F., 1959).

Contracción volumétrica

Es la reducción dimensional que experimenta la madera desde su condición saturada hasta el estado anhidro, con respecto al estado anhidro.

Se calcula como:

$$CV = \frac{V_s - V_a}{V_a} \times 100 \quad [7]$$

Contenido de humedad

Como las propiedades físicas son fuertemente dependientes del contenido de agua de la madera, se estimó para cada muestra su contenido de humedad CHu en estado normal y saturado.

$$CHu = \frac{(Pu - Pa)}{Pa} \times 100 \quad [8]$$

Se ha determinado a partir de las fórmulas [6], [7] y [8] la relación entre la densidad y el contenido de humedad como:

$$Du = \frac{Pu}{Vu} = \frac{Pa (1 + u)}{Va (1 + \alpha_{au})} \quad [9]$$

Donde α_{au} es la contracción volumétrica entre los estados de humedad u y anhidro, referida al estado anhidro en tanto por uno; y u es el contenido de humedad dado en tanto por uno.

Esta fórmula nos permite calcular la densidad a cualquier contenido de humedad u.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se dan los valores promedios de las variables estimadas.

TABLA 1
VALORES CORRESPONDIENTES AL PROMEDIO POR ARBOL DONDE
EL VALOR X ESTA TOMADO COMO PROMEDIO DENTRO DE LA ESPECIE Y
ORIGEN

Average values by trees. where X is the mean of species

	Pr. flexuosa semilla			Pr. flexuosa rebrote			Pr. nigra semilla		
	base	60 cm	120 cm	base	60 cm	120 cm	base	60 cm	120 cm
Dn	803	792	800	793	769	775	857	804	826
Kg/m³	827	789	765	839	820	891	851	825	822
	890	868	862	797	793	782			
	X = 822 ± 42,5			X = 807 ± 38,5			X = 831 ± 19,7		
Da	748	742	743	743	719	734	813	759	780
Kg/m³	774	740	722	777	770	824	803	776	765
	830	812	811	738	731	724			
	X = 769 ± 39,1			X = 751 ± 33,6			X = 783 ± 21,4		

TABLA 1 (Continuación)

	Pr. flexuosa semilla			Pr. flexuosa rebrote			Pr. nigra semilla		
	base	60 cm	120 cm	base	60 cm	120 cm	base	60 cm	120 cm
Ds	1.093	1.052	1.077	1.090	1.098	1.099	1.196	1.106	1.160
Kg/m ³	1.112	1.101	1.091	1.088	1.120	1.131	1.197	1.163	1.168
	1.142	1.137	1.137	1.095	1.105	1.124			
	X = 1.105 ± 30,4			X = 1.106 ± 14,5			X = 1.162 ± 30,1		
Db	708	698	701	695	675	689	750	701	717
Kg/m ³	735	704	682	735	725	779	761	732	724
	777	761	759	695	688	687			
	X = 725 ± 33,8			X = 708 ± 33			X = 730,8 ± 22		
Cv %	6,1	6,4	6,2	6,8	6,9	6,5	7,9	8,3	8,4
	5,8	5,4	6,1	5,5	6,2	5,7	5,4	6,0	5,7
	6,8	6,6	6,8	6,3	6,1	5,4			
	X = 6,2 ± 0,5			X = 6,1 ± 0,4			X = 6,9 ± 1,3		

Los valores promedios para el contenido de humedad resultaron en la condición normal, CHN = 10,7% y en la condición verde, CHV = 58%.

Resulta interesante mostrar los coeficientes de variación promedios dentro de las alturas, dentro de los árboles y dentro de las especies, que aparecen en la Tabla. 2

TABLA 2
VARIABILIDAD DENTRO DE ALTURA, ARBOL Y ESPECIE

Variation coefficient within height, trees and species

En %	Dn	Da	Ds	DB	CV
ALT.	3,5	3,6	2,5	3,6	9,6
ARB.	4,1	4,2	2,3	3,7	10,5
SP.	5,6	5,6	3,3	5,5	15,2

Se realizó el análisis de la varianza a fin de comprobar las hipótesis planteadas, mediante el estadístico F con $\alpha = 0,05$, dando los siguientes resultados:

1. Entre los distintos orígenes de *Prosopis flexuosa*, semilla y rebrote de cepa, no se encontraron diferencias en ninguna de las propiedades ensayadas.

2. No se encontraron diferencias en las propiedades ensayadas entre *Prosopis flexuosa* y *Prosopis nigra*. Sin embargo todos los valores de la segunda especie mencionada son mayores, como se observa en la Tabla 1.

3. Para todos los árboles de la misma especie, se comprobó una alta variabilidad en todas las propiedades ensayadas, como se ve en la Tabla 2.

4. No se encontraron diferencia significativa en la densidad y contracción volumétrica a distintas alturas considerando el total de los datos. Sin embargo haciendo un test de contraste de alturas dentro de cada especie, se encontraron diferencias significativas entre la parte basal y media, para Dn, Da, Ds y Db, con un $\alpha = 0,12$ en el caso de *Prosopis flexuosa* de semilla y para *Prosopis nigra* con un $\alpha = 0,08$.

En el caso de *Prosopis flexuosa* de rebrote de cepa, no se encontró diferencia significativa en las propiedades ensayadas en las alturas estudiadas, debido a la mayor variabilidad observada.

A partir de los resultados de la Tabla 2 se observa que en todas las propiedades el coeficiente de variación dentro de la altura es menor que entre árboles, y éstos a su vez menores que para especies. Esto demuestra que la mayor fuente de variación son los árboles dentro de la especie y no la localización dentro de un mismo árbol.

No hemos encontrado referencias bibliográficas de las variaciones de los parámetros ensayados en las especies de *Prosopis* estudiadas. Sin embargo el comportamiento hallado en este trabajo sobre la variabilidad de la densidad a lo largo del fuste coincide con lo observado para salicáceas (Bonavia de Guth, Piussan, 1987) mientras que sucede lo contrario en el caso de coníferas, donde se observó decrecimiento de la densidad con la altura del fuste.

Los resultados obtenidos confirman la alta densidad de ambas especies, que son comparables a los observados para *Aspidosperma quebracho blanco* ($D_n = 880 \text{ kg/m}^3$). (D'Antoni, 1986).

En relación a la contracción volumétrica, en la Tabla 1 se aprecia que los valores son relativamente bajos si se compara con otras especies de madera dura como el *Aspidosperma quebracho blanco* ($CV = 16,8 \text{ p. } 100$) y *Schinopsis lorentzii* ($CV = 11,3 \text{ p. } 100$), (D'Antoni, 1986).

Galante (1953), al caracterizar la madera de *Prosopis nigra* indica que su densidad normal fluctúa entre 575 y 880 kg/m^3 , mientras que D'Antoni (1986) y Tortorelli (1956) proporcionan valores semejantes de D_n y CV a los obtenidos en este estudio para la misma especie.

CONCLUSIONES

El análisis de varianza realizado para cada propiedad, considerando especies, origen, árbol y altura, permite deducir que la fuente de mayor variabilidad son los árboles dentro de la especie.

Este resultado induce a recomendar, en el caso de especies nativas que se desarrollan en condiciones extremas, que se aumente el número de árboles por especie o por origen en el muestreo.

A pesar de ser especies diferentes, o de orígenes distintos, las propiedades físicas de la madera son semejantes. Por lo tanto, los valores de densidad y contracción volumétrica no son estimadores adecuados para identificar orígenes de las especies estudiadas en el Oeste de la Provincia de Córdoba.

Dado que los resultados para rebrote y semilla son semejantes, se considera que la renovación de la biomasa a través del rebrote de cepa, permite obtener en menor tiempo madera de calidad similar.

Los valores promedios obtenidos en este estudio muestran que la madera de *Prosopis flexuosa* y *Prosopis nigra* son de alta densidad y buena estabilidad dimensional. Por lo tanto se debe tender a un tipo de manejo que asegure su permanencia, permita incrementar su actual disponibilidad y se logre un uso maderable que posibilite un mayor valor agregado al recurso.

AGRADECIMIENTOS

A la Lic. María del Pilar Díaz y a la Ing. Agr. Mónica Balzarini, por el apoyo prestado en el diseño y análisis estadístico.

A los técnicos del Instituto de Tecnología de la Madera (Santiago de Estero), por su trabajo en la preparación de las probetas de ensayo.

Al Ing. Agr. Ruben Coirini, por su valiosa colaboración en los trabajos a campo.

Al Ing. Agr. Ulf Ola Karlin, por su permanente aporte y discusión.

A las siguientes instituciones: SMAGyRR. Pcia. de Córdoba. F.C.A. Universidad de Córdoba, F.C.F. Universidad de Santiago del Estero y CONICOR, Pcia. de Córdoba.

A BOSTID-NAS por el financiamiento de este trabajo, el cual forma parte del Proyecto «Manejo de *Prosopis* arbóreos en sistemas de producción agroforestal: Chaco Seco Argentino».

SUMMARY

Specific gravity and volumetric shrinkage variability of *Prosopis* wood.

Wood specific gravity and volumetric contraction were examined in *Prosopis flexuosa* and *Prosopis nigra* trees from western areas of Province of Cordoba (Argentinian dry Chaco).

The variation of these properties were analyzed among species, among trees within a species, and within the tree (at different heights). *Prosopis flexuosa* originated from seed and coppice were also examined.

There were significant statistical differences ($\alpha=0.10$) between the basal and central portion of the stem.

The highest variation was observed among trees within a species.

There were not significant statistical differences between species (*Pr. flexuosa* and *Pr. nigra*) and between different origin (seed and coppice) in *Prosopis flexuosa*.

These *Prosopis* species have a high specific wood gravity and good dimensional stability.

KEY WORDS: *Prosopis*

Wood

Specific gravity

Volumetric contraction

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BOLZON DE MUÑOZ G., 1985. Seminario: Influencia de la Estructura en las Propiedades de la Madera. fac. Ciencias Forestales. Univ. Fed. de Curitiba, Brasil.
- BONAVIA DE GUTH E., PIUSSAN C., 1987. Variación de las características del leño del individuo en *Salix nigra* cultivado en el Delta de Paraná. Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. Tomo IV. Trabajos Voluntarios. CIEF. Buenos Aires, Argentina. pp. 220-235.
- BOLZON DE MUÑOZ G., 1985. Seminario: Influencia de la Estructura en las Propiedades de la Madera. Fac. Ciencias Forestales. Univ. Fed. de Curitiba, Brasil.
- CUEVAS E., ULLOA I., ROSENDE R., DONOSO J., 1985. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de Tamarugo y Algarrobo de la Pampa del Tamarugal. Estado Actual sobre el Conocimiento de *Prosopis* Tamarugo. FAO. Chile. pp. 357-366.
- D'ANTONI J. C., 1986. Recuperación de áreas afectadas por las inundaciones. Posibilidades de Industrialización de los Recursos Leñosos del Parque Chaqueño. Argentina. FAO-IFONA. Proyecto TCP. pp. 22-23.
- GALANTE J. J., 1953. Tecnología de las Maderas. Ed. NIGAR. Argentina. pp. 42-43.

- GARCIA SOLA E., VALDES J., CLEMENTE M. T., 1965. Propiedades físicas de ocho maderas del Bosque Chaqueño y su uso tecnológico. Proyecto de Maderas del Bosque Chaqueño. Univ. Nac. del Nordeste. Resistencia. Chaco. Argentina. 27 pp.
- HOUKAL D., PONCE E., VILLALOBOS D., 1988. Within tree variation of wood specific gravity in Ocote Pine. Turrialba 38 (2), pp. 97-104.
- KARLIN U., DIAZ R., 1984. Potencialidad y Manejo de Algarrobos en el Arido Subtropical Argentino. Pub SECYT, Programa de Recursos Renovables. Argentina. pp. 1-59.
- KARLIN U., 1988. Comunicación personal.
- KOLLMANN F., 1959. Tecnología de la Madera y sus aplicaciones. Ed. IFIE, Madrid, España. pp. 359-484.
- LEONARDIS R.F.J., 1948. Arboles de la Argentina y Aplicaciones de su Madera. Ed. Suelo Argentino, pp. 125-155.
- MONTGOMERY D., 1966. Design and Analysis of Experiments. Ed. John Wiley and Sons, 2 ed. Cap 8 y 12.
- ROGERS K., 1980. The Mechanical, physical and drying properties of Mesquite Wood. pp. 3-10.
- TARTARA E., COIRINI R., 1987. Comunicación personal.
- TORTORELLI L., 1956. Maderas y Bosques Argentinos. Ed. Acme, pp. 392-415.
- TUSET R., DURAN F., 1979. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo.
- VERVOORST F., 1954. El bosque de algarrobo de Pipanaco (Catamarca). Tesis Doctoral.