

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Anatomía y ultraestructura de la madera de tres especies de *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) del Parque Chaqueño seco, Argentina

## Wood anatomy and ultrastructure of three species of *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) from dry Parque Chaqueño, Argentina

Graciela Ines Bolzón de Muniz<sup>1</sup>, Silvana Nisgoski<sup>1</sup>  
y María Guadalupe Lomelí-Ramírez<sup>2</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo fue dirigido para contribuir al conocimiento de la anatomía y ultra estructura de la madera de 3 especies de *Prosopis* que crecen en formaciones vegetales heterogéneas del Parque Chaqueño seco. El material de estudio fue colectado en la Provincia de Santiago del Estero, noroeste de Argentina. Las especies estudiadas fueron: *Prosopis vinallillo*, *Prosopis alba* y *Prosopis nigra*. La madera de las especies fue descrita macroscópicamente a través de lupa. Para el estudio microscópico se prepararon láminas permanentes de los tres planos de la madera y del material disociado para medir los elementos celulares. Los resultados muestran que las 3 especies presentan gran semejanza estructural y concuerdan con las características generales de la subfamilia Mimosoideae. Sin embargo, el número de vasos/mm<sup>2</sup> fue un carácter bastante variable entre las especies y entre individuos de la misma especie. En los casos de las puntuaciones intervasculares, radio-vasculares y parénquimo-vasculares es importante describir su forma, tipo, distribución y ornamentación. Las muestras observadas con microscopio electrónico de barrido permitieron mostrar las ornamentaciones en las puntuaciones y las estriaciones en las paredes de los vasos. Estas estriaciones mostraron ser características de las 3 especies de *Prosopis* estudiadas.

#### PALABRAS CLAVE:

Anatomía, *Prosopis*, Parque Chaqueño, Mimosoideae.

### ABSTRACT

This study was aimed to contribute to the knowledge of anatomy and ultra structure of the 3 species of wood of *Prosopis* growing in heterogeneous forest dry Chaqueño Park. The study material was collected in the province of Santiago del Estero northwest Argentina. The species studied were: *Prosopis vinallillo*, *Prosopis alba* and *Prosopis nigra*. The wood of the species was described macroscopically using a magnifying glass. For microscopic study were prepared permanent slides from the three planes of wood and dissociated material to measure the cellular elements. The results show that the 3 species are very similar and consistent with the structural features of the subfamily Mimosoideae. However, the number of vessels/mm<sup>2</sup> was quite variable between species and between individuals of

- 1 Dr., Professor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba (PR). gbmunize@ufpr.br, silinis@yahoo.com
- 2 M. Sc., Doctoranda do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba (PR). glomeli12@gmail.com

the same species. In the cases of intervessel, vessel-ray and vessel-parenchyma pits is important to describe its shape, type, distribution and ornamentation. Samples observed under scanning electron microscope allowed displaying ornaments in pits and striations on the vessels walls. These striations were shown to be characteristics of the 3 *Prosopis* species studied.

KEY WORDS:

Anatomy, *Prosopis*, Park Chaqueño, Mimosoideae.

## INTRODUCCIÓN

La región fitogeográfica denominada Parque Chaqueño seco posee una extensión aproximada de 1'000.000 km<sup>2</sup>, de estos corresponden 655 000 km<sup>2</sup> a Argentina, 240 000 km<sup>2</sup> al Paraguay, abarcando parte también de Bolivia y Brasil. Del área total, 31% corresponde a áreas clasificadas como tierras forestales (Giménez *et al.*, 2007). En Argentina comprende los estados de Formosa, Chaco, Santiago del Estero, este de los estados de Salta, Tucumán, Catamarca y La Rioja, noroeste de San Luis, norte de Córdoba, más de la mitad del estado de Santa Fé y noreste de Corrientes.

El parque Chaqueño se caracteriza por la semi-aridez y por la vegetación tipo xerófilo con masas diseminadas irregularmente y de poca espesura. En el área prevalece el bosque representado por el quebrachal colorado (*Schinopsis quebracho-colorado*) y blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*). Entre las especies arbóreas más importantes se citan: *Ziziphus mistol*, *Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Prosopis kuntzei*, *Prosopis ruscifolia*, *Caesalpinia paraguayensis*, *Cercidium praecox*, *Geoffroea decorticans*, etc. (Giménez, 2005).

Las maderas nativas de esta región constituyen un recurso valioso para los pueblos de zonas áridas y semiáridas sudamericanas. El uso del recurso ha

provocado, hasta hoy, un aprovechamiento poco eficiente al utilizar escasa tecnología, limitando así sus potenciales usos. También las áreas ocupadas por formaciones forestales en el Parque Chaqueño están disminuyendo constantemente debido a sustitución de los bosques por cultivos agrícolas y por la actividad pecuaria. Además, la utilización inadecuada de los bosques nativos, el corte selectivo de árboles, ha generado el empobrecimiento de esta región. La práctica cada vez más común de uso de áreas forestales, para fines agrícolas y su posterior abandono, provocan una gran predominancia de bosques secundarios, que se caracterizan por ser pobres en especies valiosas o de gran porte.

El género *Prosopis* (Fam. Leguminosae subf. Mimosoideae) se encuentra ampliamente distribuido en América, África, Asia e India. Actualmente posee una importancia fundamental en planes de reforestación de zonas áridas y semiáridas del mundo gracias a los múltiples usos a los que puede ser destinado (alimento, combustible, carbón, madera, etc.) y a su capacidad de adaptación a condiciones extremas de sequía, salinidad y altas temperaturas.

Existen 45 especies de este género en forma de árboles y arbustos espinosos. Prosperan en suelo árido y resisten sequías desarrollando sistemas radiculares extremadamente profundos. Su madera se caracteriza por ser dura, densa y durable. El uso de los *Prosopis*, o algarrobos, se remonta a considerable cantidad de años, encontrándose evidencias de estas especies muy antiguas. Existen referencias que confirman la importancia del género *Prosopis* en usos tanto como madera, así como en la recolección de vainas, en la fabricación de alimentos, uso como forraje, medicinal, colorantes, curtientes (Roig, 1993; D Antonio y Solbrig 1977).

Argentina es el principal centro de diversidad del género *Prosopis*, con un total de 44 especies, en este país están presentes 28 especies de este género. La indiscriminada explotación, sin embargo, ha reducido dramáticamente la distribución de los bosques naturales de estas especies y existe un gran riesgo de pérdida de su diversidad genética. D'Augero *et al.* (2008) estudiaron el proceso de secado artificial de maderas nativas del Parque Chaqueño, entre ellas de *Prosopis alba*, con la finalidad de generar programas de secado ajustados para especies de la región y por lo tanto valorar sus usos comerciales. Siendo *Prosopis alba* una madera representativa e importante de la región, Ledesma *et al.* (2008) establecieron la relación entre rasgos cualitativos y cuantitativos de la productividad forestal para dar valor agregado a esta especie.

Por otro lado, la caracterización de la madera bajo diferentes condiciones de crecimiento es importante para el entendimiento de la influencia del ambiente sobre las propiedades de la madera. Investigaciones realizadas por Giménez *et al.* (1998, 2000) y Bravo *et al.* (2008) han demostrado que existe un efecto de las condiciones de crecimiento (fuego, disponibilidad de agua, edad del árbol) y la anatomía de la madera. Moglia y Giménez (1998) realizaron estudios de las estrategias adaptativas del hidrosistema del xilema de algunas especies que crecen en la Región Chaqueña (Argentina). Carlquist (1975), señala que numerosos vasos por mm<sup>2</sup>, vasos pequeños, elementos de vasos cortos, número grande de vasos por grupo, presencia de traqueidas vasicéntricas, espesamientos helicoidales y anillos de crecimiento demarcados son indicadores de xerofitismo. Belluomini (1995) verificó la influencia de las características morfológicas y químicas de la corteza y el leño de las especies *Prosopis alba* y *Prosopis*

*nigra* y su relación con el ataque de *Criodion angustatum* (Coleoptera, Cerambycidae).

Con la creciente escasez de materia prima para la industria maderera y la grave situación energética actual, es imprescindible la utilización sustentable de las especies forestales que crecen en esta región geográfica. La utilización de especies antes consideradas de poca importancia aporta valor y mantiene equilibrio en el ecosistema. Por tanto, los estudios anatómicos aportan informaciones de gran importancia, en lo que se refiere al posible aprovechamiento forestal y tecnológico, para una adecuada utilización de la madera.

## OBJETIVO

Este trabajo pretende contribuir, a través del estudio de la anatomía y ultraestructura de madera, al conocimiento de 3 especies forestales del género *Prosopis*, que crecen en formaciones vegetales en el Parque Chaqueño seco en Argentina.

## METODOLOGÍA

### Local de colecta

El material de estudio fue colectado en la Provincia de Santiago del Estero, noroeste de Argentina, en la región de formación fitogeográfica denominada Parque Chaqueño seco. Las especies de *Prosopis* estudiadas fueron las siguientes: *Prosopis vinalillo* Stuck. (vinalillo), *Prosopis alba* Griseb. (algarrobo blanco, árbol ibopé) y *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron (algarrobo negro). Para cada especie fueron recolectadas muestras de madera de 4 árboles, provenientes de diferentes sitios. En la figura 1 se presenta el mapa con los sitios de colecta.



Para las electromicrografías se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca Philips, SEM 505, 15 KV. Los bloques de madera fueron metalizados con una capa de oro.

La maceración de los elementos celulares de la madera fue realizada por el método Jeffrey (Freund, 1970) solución acuosa de ácido nítrico y ácido crómico al 10%, en proporción 1:1. Se utilizó safranina como colorante. El proceso de deshidratación del tejido macerado y el montaje utilizado es el mismo citado para la preparación de láminas con cortes histológicos.

## RESULTADOS

***Prosopis vinalillo*** Stuck. (Lám. 1 y Tabla 1)

**Nombre común:** Vinalillo. Distribución geográfica: En Argentina se distribuye en los wstados de Salta, Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Santa Fé, extendiéndose hasta Paraguay (Tortorelli, 1956).

**Características de la madera:** Albura y duramen de distinto color. Duramen de color café claro, rosado (7,5 YR-8/4-7/4); Albura de color amarilla-verduzca (5 Y-8/8): muy delgada, menos de 2 cm. Madera sin brillo, sin olor o gusto característico, textura fina a media, de grano derecho y levemente irregular. Anillos de crecimiento: Poco visibles a simple vista, solo visibles con lupa, individualizados por la acumulación de poros de mayor diámetro del anillo y por la presencia de parénquima marginal.

**Vasos:** Constituyen cerca de 11% del volumen de la madera, con porosidad semi-circular. Visibles con lupa de 10X; principalmente solitarios, en múltiples radiales de 2 a 3 poros y en grupos de racimos de vasos de diámetro menor que

tienden acumularse al final del anillo de crecimiento; diámetro de los vasos de extremadamente pequeño a medio; paredes medianamente espesas; de sección circular a oval. Elementos de vasos muy cortos. Apéndices ausentes, o presentes en una o ambas extremidades. Estriaciones muy tenues, ornamentadas, casi imperceptibles al microscopio óptico, presentes en la pared de los vasos. Placa de perforación exclusivamente simple, en general de bordes lisos, ocasionalmente ornamentada en vasos menores: en plano aproximadamente transverso en los vasos de mayor diámetro, e inclinada en los elementos de menor diámetro. Vasos con inclusiones orgánicas, con aspecto de goma-resina. Puntuaciones intervasculares alternas, de diámetro pequeño, ornamentadas, de forma oval, circular a frecuentemente poligonal. Abertura lenticular, frecuentemente coalescente hasta 4 puntuaciones. Puntuaciones radiovasculares y parénquimo-vasculares, semi-aereoladas, semejantes a las intervasculares. En corte tangencial, vasos de menos diámetro frecuentemente geniculados, formando líneas vasculares irregulares; con puntuaciones intervasculares solamente cerca de la placa de perforación y con algunas puntuaciones simples en el resto de la pared.

**Parénquima axial:** Constituyendo cerca de 33% del volumen de la madera; visible a simple vista; predominantemente paratraqueal, vasicéntrico, aliforme, aliforme-confluente, con bandas cortas, oblicuas ininterrumpidas hasta bandas tangenciales casi completas. Parénquima marginal también presente, constituido por una línea muy tenue que delimita el anillo de crecimiento. Células de parénquima fusiformes y en series de 2 a 4 células de altura, frecuentemente cristalíferas, con series verticales de 2 a 16 cámaras con monocristales romboides de oxalato de calcio. Las células de parénquima apotraqueal marginal se

Tabla 1. Estadística descriptiva de las características anatómicas de la madera de *Prosopis vinalillo*.

Característica	No.	Mínimo	Máximo	X	$\sigma$	VC%
Poros/mm <sup>2</sup>	400	1,00	21	8,20	2,80	34,14
Diám. Tangencial de poros *	400	21,25	211,13	98,08	29,97	30,56
Diám. Puntuaciones intervascuales *	100	3,34	8,53	5,92	0,87	14,70
Diám. Puntuaciones radio-vasculares *	100	3,59	6,88	5,21	0,79	15,16
Diám. Puntuaciones parénquimo-vasculares*	100	3,22	7,09	5,21	0,63	12,09
Anchura radios uniseriados *	200	5,59	20,05	12,03	2,29	19,04
Altura radios uniseriados *	200	9,23	94,05	45,45	14,75	32,45
Altura radios uniseriados (células)	200	1,00	15	5,80	1,41	24,31
Radios/mm	200	2,00	6	3,55	0,63	18,26
Anchura radios multiseriados *	200	20,01	70,31	45,10	9,30	20,62
Anchura radios multiseriados *	200	2,00	6	4,03	0,82	20,35
Altura radios multiseriados *	200	23,53	603,72	239,23	85,46	35,72
Altura radios multiseriados (células)	200	7,00	66	30,31	10,68	35,23
Longitud elementos vasculares *	200	40,80	278,4	156,74	35,49	23,28
Longitud de fibras *	400	630,43	1512,59	1035,89	121,76	11,75
Diám. Total de fibras??	400	9,96	22,74	14,08	2,35	16,69
Diám. Lumen de fibras??	400	5,00	16,24	8,91	1,42	15,94
Grosor de pared fibras *	400	1,02	4,21	2,25	0,50	22,22

\* Valores en micras.

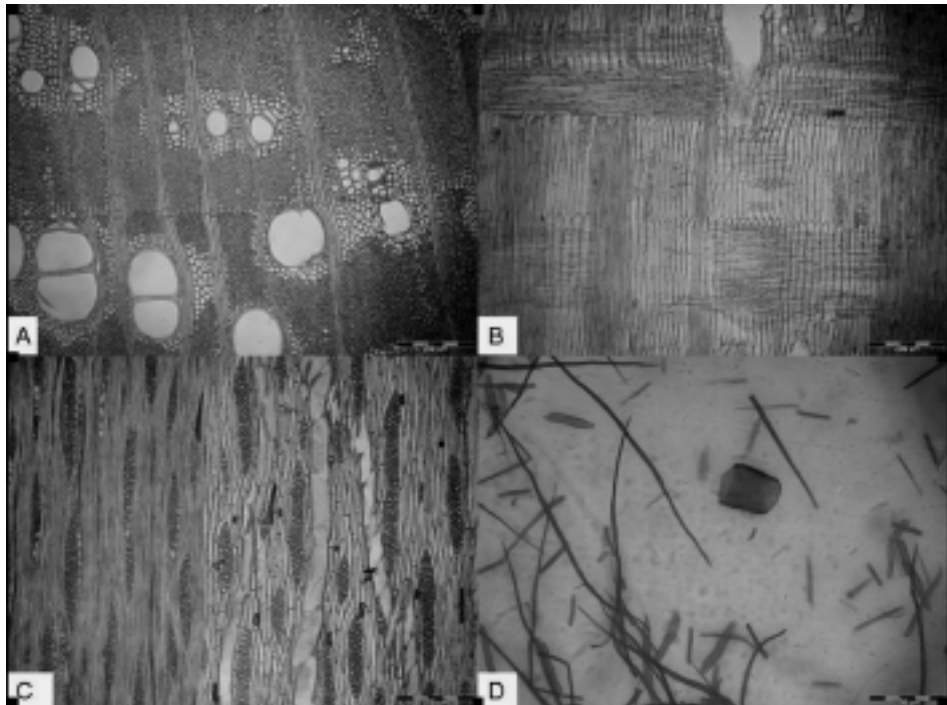


Lámina 1. *Prosopis vinalillo* Stuck. (A) Corte transversal. (B) Corte radial. (C) Corte tangencial. (D) Dispersión de los elementos.

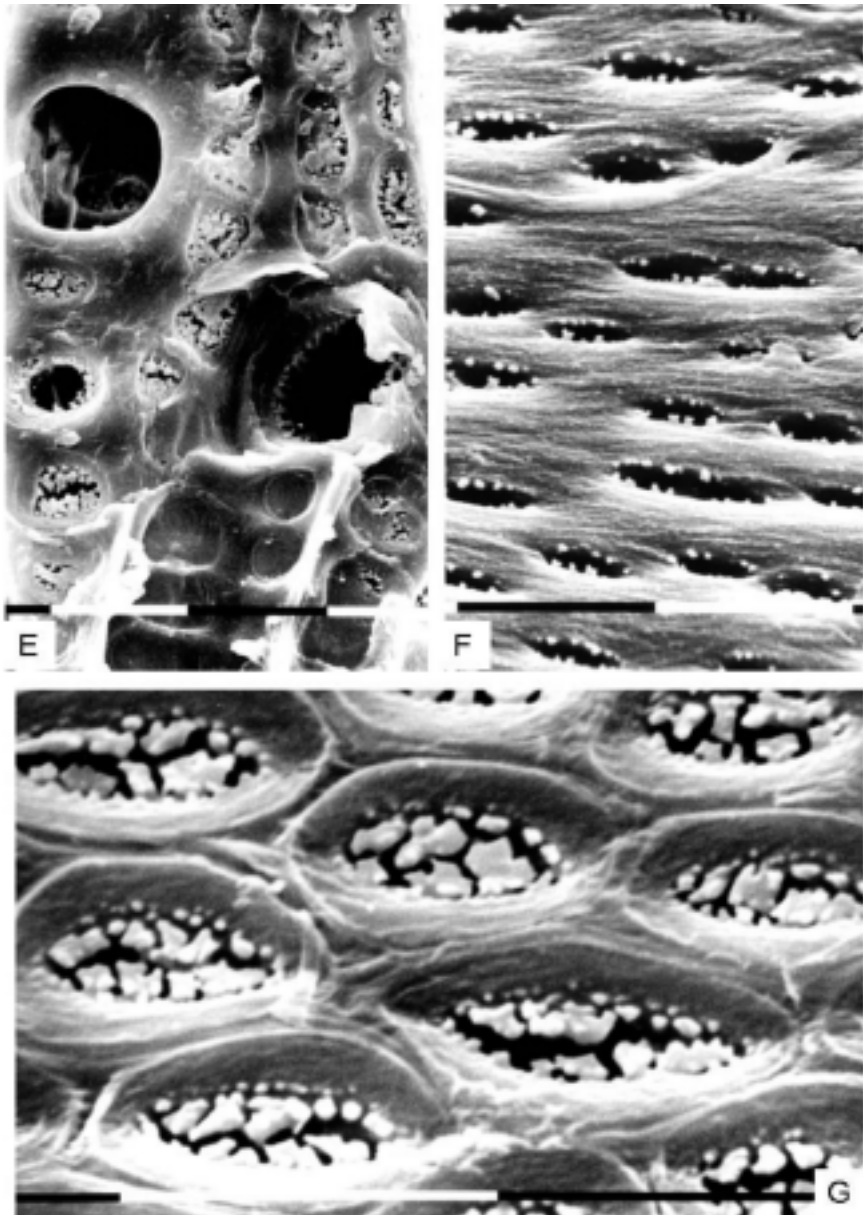


Lámina 1. *concluye* (E) Elemento de vaso con placa de perforación simple y puntuaciones ornamentadas 600 X. (F) pared interna de elemento de vaso, mostrando, aberturas de puntuaciones, estriaciones y ornamentaciones 3,750 X. (G) cámaras de las puntuaciones intervasculares mostrando ornamentación 7,500 X

subdividen y producen largas filas axiales de minúsculos cristales en cámaras, mucho menores que los cristales producidos en el resto del anillo.

**Radios:** Constituyendo cerca de 11% del volumen de la madera; no visibles a simple vista, visibles con dificultad con lente de 10X; no estratificados. Reflejo poco contrastado. Radios homogéneos, constituidos únicamente por células procumbentes, ocasionalmente con monocristales romboides de oxalato de calcio y con contenido semejante a goma-resina, poco frecuentes a poco numerosos. Radios uniseriados escasos (15% del total); extremadamente finos a muy finos, extremadamente bajos con pocas células de altura. Radios uniseriados variando de extremadamente bajos a bajos; extremadamente finos a estrechos. Radios multiseriados frecuentes.

**Fibras:** Tejido fibroso abundante, constituyendo cerca de 45% del volumen de la madera. Fibras libriformes, no septadas frecuentemente gelatinosas, extremadamente cortas a cortas, estrechas y de pared muy espesa.

**Otros caracteres:** Máculas medulares pequeñas ocasionalmente presentes.

***Prosopis alba*** Griseb. (Lám. 2 y Tabla 2)

**Nombre común:** Algarrobo blanco, yanatucu, ibopepará, ibopé. **Distribución geográfica:** su área de distribución muy amplia, encontrándose en los estados de Córdoba, San Luis, Catamarca, La Rioja, Santiago del Estero, Chaco, Formosa, Salta, Formosa, Jujuy y Tucumán (Tortorelli, 1956)

**Características de la madera:** Albura de color crema (2,5 Y-8/4) y duramen de color café 5 YR- 6/4); blanda al corte; sin brillo, sin olor o gusto característico,

textura fina a media, grano inclinado y figura pronunciada.

**Anillos de crecimiento:** Visibles; límite de los anillos de crecimiento evidenciado por la formación de una banda continua de parénquima axial marginal o por la mayor concentración de poros de mayor diámetro, lo que concuerda con Giménez *et al.* (1998).

**Vasos:** Constituyen cerca de 12% del volumen de la madera; porosidad semicircular, mientras que Mogila y Giménez (1998) reportan de difusa a semicircular; visibles a simple vista; numerosos; solitarios, múltiples radiales (2 a 3) y múltiples en racimos de poros pequeños; diámetro tangencial extremadamente pequeño a grande; de paredes medianamente espesas; de sección circular a oval. Líneas vasculares más o menos rectilíneas a irregularmente oblicuas, frecuentemente presentando vasos geniculados. Ocasionalmente con contenido semejante a goma-resina principalmente en vasos de duramen. Apéndices ausentes o presentes en una o ambas extremidades, cortos. Placa de perforación simple, en plano aproximadamente transversal en los vasos de mayor diámetro, pero inclinada en los elementos de menor diámetro. Las paredes de los vasos con estriaciones ornamentadas tenues, visibles con microscopio electrónico de barrido. Células perforadas de radio ocasionalmente presentes. Puntuaciones intervasculares alternas, de diámetro pequeño, ornamentadas, de forma oval, circular y frecuentemente poligonal debido a la proximidad de unas con otras. Abertura lenticular, inclusa, frecuentemente coalescente hasta 4 puntuaciones. Puntuaciones radiovasculares y parénquimo-vasculares semi-aereoladas ornamentadas, semejantes a las puntuaciones intervasculares.



Tabla 2. Estadística descriptiva de las características anatómicas de la madera de *Prosopis alba*.

Característica	No.	Mínimo	Máximo	X	$\sigma$	VC%
Poros/mm <sup>2</sup>	400	1,00	20,00	6,00	2,75	45,83
Diám. Tangencial de poros *	400	10,87	286,34	120,50	29,10	24,14
Diám. Puntuaciones intervascuales *	100	3,35	9,49	6,71	0,99	14,75
Diám. Puntuaciones radio-vasculares *	100	3,12	7,64	4,90	0,68	13,88
Diám. Puntuaciones parénquimo-vasculares*	100	3,06	7,81	5,46	0,89	16,30
Anchura radios uniseriados *	200	9,31	20,82	14,38	2,62	18,21
Altura radios uniseriados *	200	14,09	154,72	64,53	20,99	32,57
Altura radios uniseriados (células)	200	1,00	13,00	5,03	1,33	26,44
Radios/mm	200	2,00	8,00	4,88	0,82	16,80
Anchura radios multiseriados *	200	21,73	73,07	47,10	9,50	20,17
Anchura radios multiseriados *	200	2,00	6,00	4,00	0,75	18,75
Altura radios multiseriados *	200	34,06	632,46	346,33	100,10	28,90
Altura radios multiseriados (células)	200	7,00	72,00	33,63	12,26	36,46
Longitud elementos vasculares *	200	78,79	260,75	160,75	34,53	21,48
Longitud de fibras *	400	535,06	1550,94	1073,73	169,49	15,79
Diám. Total de fibras *	400	9,64	18,21	12,60	2,21	17,53
Diám. Lumen de fibras *	400	5,24	12,81	7,74	1,42	18,35
Grosor de pared fibras *	400	1,41	4,35	2,57	0,58	22,57

\* Valores en micras.

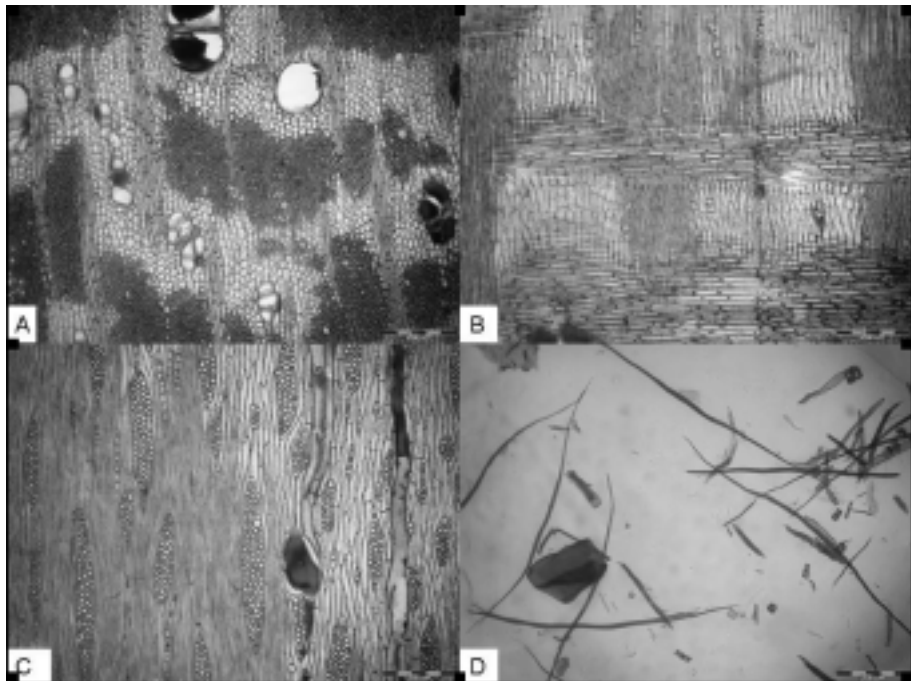


Lámina 2. *Prosopis alba* Griseb. (A) Corte transversal. (B) Corte radial. (C) Corte tangencial. (D) Dispersión de los elementos.

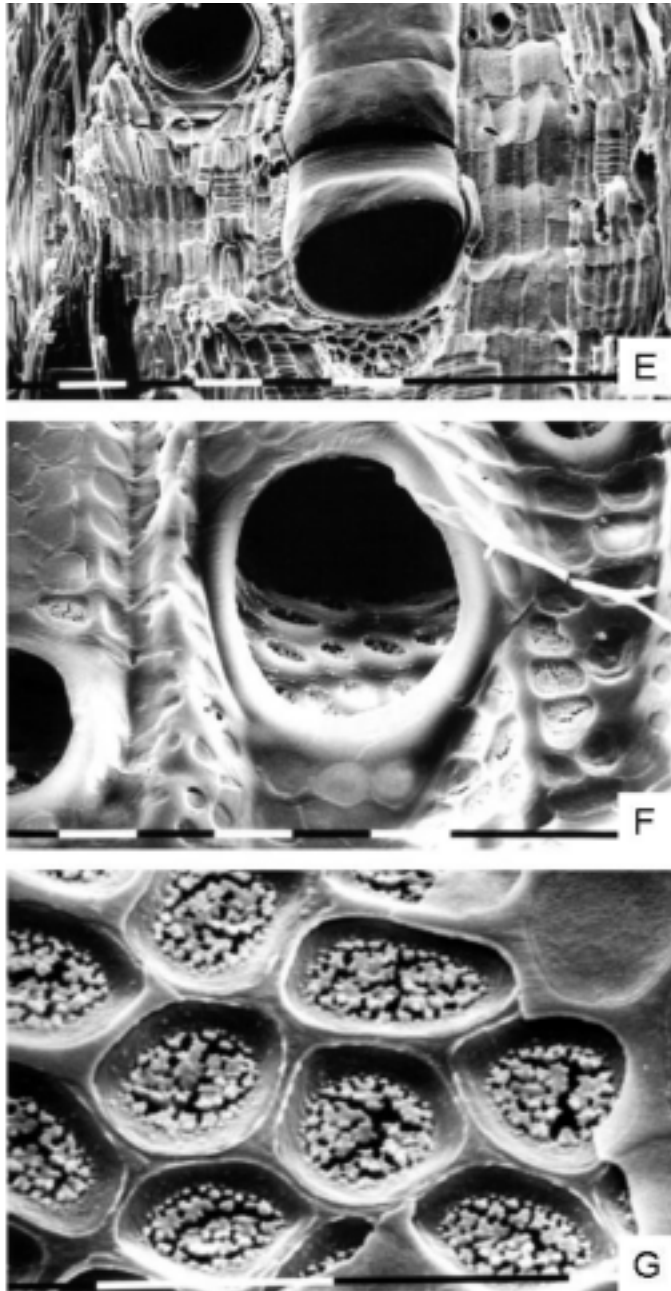


Lámina 2. *concluye*. (E) Vasos con placas de perforación simples 164 X. (F) Detalle de vaso de madera tardía, mostrando placa de perforación simple y pared interna con puntuaciones y estriaciones ornamentadas 1,875 X. (G) Cámara de puntuaciones intervasculares con ornamentación 5,700 X.

**Parénquima axial:** Abundante, constituyendo hasta 45% del volumen de la madera: visible, típicamente para-traqueal, confluyente en largas bandas irregulares de hasta cerca de 30 células de espesor. Se encuentra también parénquima apotraqueal difuso, además de bandas continuas de parénquima marginal, delimitando los anillos de crecimiento. Células de parénquima de 2 tipos: fusiformes, y parénquima seriado, con series de 2–4 células. Monocristales romboides de oxalato de calcio de diferentes tamaños presentes en muchas células parenquimáticas.

**Radios:** Constituyen cerca de 13% del volumen de la madera. En corte transversal, visibles con dificultad a simple vista y visibles con lente de 10X; en plano tangencial, invisibles a simple vista, poco perceptibles con lente; no estratificados. Reflejo de los radios poco contrastado. Radios homogéneos, poco frecuentes a poco numerosos. Radios uniseriados escasos (8% del total), de extremadamente finos a muy finos y extremadamente bajos. Los radios multiseriados varían de extremadamente bajos a bajos. Son extremadamente finos a estrechos. Ocasionalmente, en ciertas células procumbentes se observan pequeños monocristales de oxalato de calcio. Células perforadas de radio ocasionalmente presentes.

**Fibras:** Tejido fibroso poco abundante, constituyendo cerca de 30% del volumen de la madera, organizado en bandas tangenciales irregulares. Fibras libriformes, no septadas, frecuentemente gelatinosas; extremadamente cortas a cortas, estrechas, de paredes muy espesas.

**Otros caracteres:** Máculas medulares pequeñas ocasionalmente presentes.

***Prosopis nigra*** (Griseb.) Hieron (Lám. 3 y Tabla 3)

**Nombre común:** Algarrobo negro, ibopé-hú. **Distribución geográfica:** Parte central y norte de Argentina, los estados de Santiago del Estero, Córdoba, San Luis, La Pampa, Catamarca, Salta, Jujuy, Chaco, Santa-Fé y Formosa. (Tortorelli, 1956).

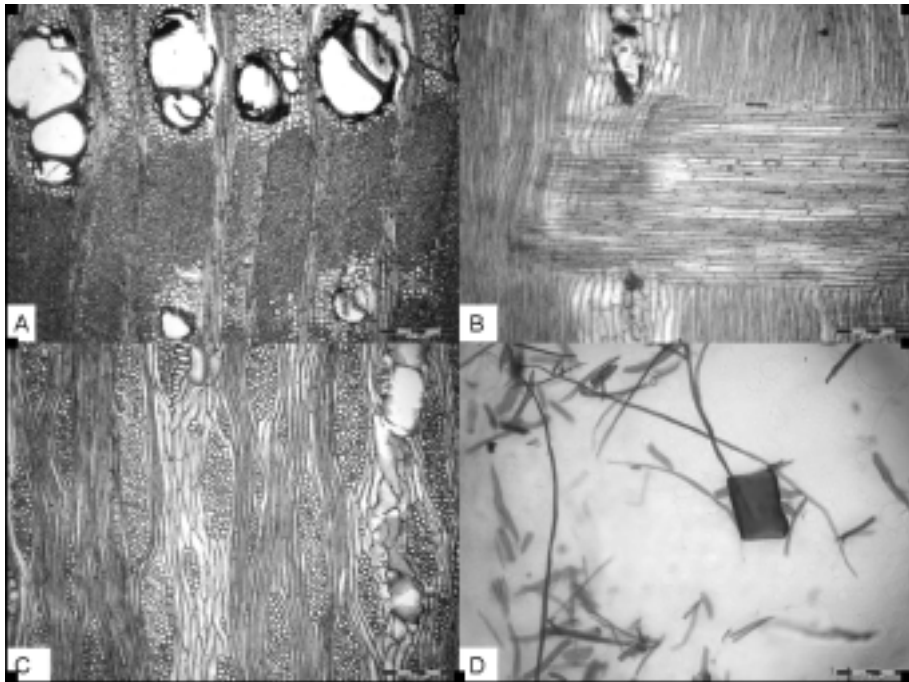
**Características de la madera:** Madera de albura y duramen distintos, sin brillo, sin olor y gusto característicos; blanda al corte; textura mediana, grano oblicuo y entrelazado. Anillos de crecimiento: Distintos, evidenciados por el agrupamiento de poros de mayor diámetro, por la reducción en el diámetro radial de las fibras al término del anillo y formación de parénquima marginal inicial. Lo que concuerda con Giménez *et al.* (2000).

**Vasos:** Constituyen cerca de 15% del volumen de la madera; porosidad difusa tendiendo a porosidad semicircular; poco visible a simple vista; visibles con lente de 10X; en corte tangencial, líneas vasculares onduladas, irregulares, con vasos frecuentemente geniculados, ocasionalmente con células perforadas de radio. Son poco numerosos a muy numerosos: solitarios, en múltiples radiales de 2 a 4 poros y en múltiples en racimo de poros pequeños. Diámetro tangencial pequeño a grande; de paredes medianamente espesas, solitarios y geminados, de sección oval hasta circular. Los agrupamientos recemiformes de poros se tienden a concentrar en la porción media a terminal de los anillos de crecimiento. Los poros menores, que se encuentran distribuidos por todo el leño, son de sección más o menos poligonal. Elementos vasculares muy cortos a cortos, sin o con apéndices cortos, en una o ambas extremidades. Paredes con estriaciones tenues, irregulares, ornamentadas. Placa de perforación exclusivamente

Tabla 3. Estadística descriptiva de las características anatómicas de la madera de *Prosopis nigra*.

Característica	No.	Mínimo	Máximo	X	$\sigma$	VC%
Poros/mm <sup>2</sup>	400	1,00	14,00	4,43	2,02	45,59
Diám. Tangencial de poros *	400	16,56	334,99	149,70	48,87	32,65
Diám. Puntuaciones intervascuales *	100	3,49	6,80	5,47	0,68	12,43
Diám. Puntuaciones radio-vasculares *	100	3,00	5,57	4,18	0,75	17,94
Diám. Puntuaciones parénquimo-vasculares*	100	3,34	6,75	5,00	0,92	18,40
Anchura radios uniseriados *	200	7,59	20,78	13,31	2,25	16,90
Altura radios uniseriados *	200	6,20	138,65	64,30	22,48	34,96
Altura radios uniseriados (células)	200	1,00	12,00	5,63	2,26	40,14
Radios/mm	200	2,00	6,00	3,08	0,58	18,83
Anchura radios multiseriados *	200	22,55	97,85	63,17	14,84	23,49
Anchura radios multiseriados *	200	2,00	6,00	4,71	0,99	21,02
Altura radios multiseriados *	200	102,01	749,09	389,34	148,52	38,15
Altura radios multiseriados (células)	200	10,00	62,00	32,23	11,42	35,43
Longitud elementos vasculares *	200	37,04	233,39	145,0	36,51	25,18
Longitud de fibras *	400	629,21	1535,41	1093,18	135,26	7,10
Diám. Total de fibras *	400	9,74	18,52	12,79	2,14	16,73
Diám. Lumen de fibras *	400	5,35	12,91	7,63	1,40	18,35
Grosor de pared fibras *	400	1,35	4,61	2,74	0,61	22,26

\* Valores en micras

Lámina 3. *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. (A) Corte transversal. (B) Corte radial. (C) Corte tangencial. (D) Dispersión de los elementos.

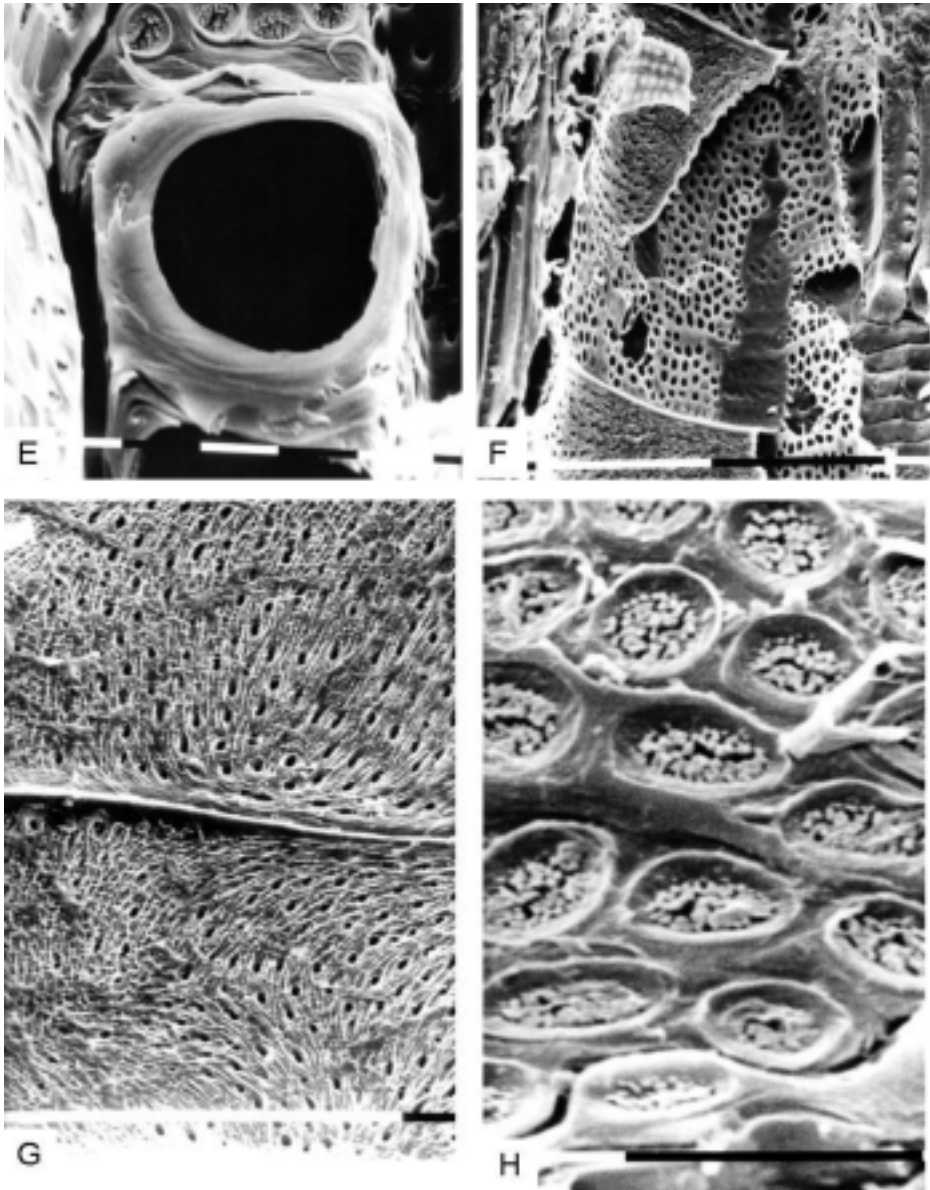


Lámina 3. *concluye* (E) Vaso de madera tardía con placa de perforación simple, con ornamentación 2770 X. (F) Plano radial mostrando restos de pared de vaso, células de parénquima axial con puntuaciones parénquima-vasculares, células de radio 630 X.

(G) Pared interna de vasos, mostrando abertura de puntuaciones intervasculares y estriaciones ornamentadas 1,000 X. (H) Cámaras de puntuaciones intervasculares con ornamentación 7,000 X.

de tipo simple, transversal en elementos vasculares de mayor diámetro, e inclinada hasta 45° en otros vasos de diámetro menor. En el duramen, los vasos se encuentran frecuentemente obstruidos por inclusión orgánica de naturaleza no determinada, pero con semejanza a goma-resina. Puntuaciones intervasculares alternas, pequeñas de forma oval, ornamentadas, con aberturas lenticulares, horizontales o poco inclinadas, frecuentemente corto-coalescentes hasta 4 puntuaciones. Puntuaciones parénquimo-vasculares y radio-vasculares alternas, semi-aeroladas, semejantes a las puntuaciones intervasculares.

*Parénquima axial*: Visible a simple vista: constituyendo cerca de 35% del volumen de la madera: típicamente paratraqueal, vasicéntrico, aliforme, confluyente; también con parénquima apotraqueal difuso, frecuentemente cristalífero. Al inicio del anillo de crecimiento y caracterizado por una banda continua de parénquima, como fue observado por Giménez *et al.* (2000) y Marchiori *et al.* (2009). Parénquima axial constituido por células fusiformes, o en series de 2–4 células de altura. Células frecuentemente cristalíferas con monocristales romboides de oxalato de calcio en cámaras, formando series verticales de 2 a 16 cámaras; en el parénquima que delimita el anillo de crecimiento los cristales son menores y las series contienen mayor número de células.

*Radios*: Constituyendo cerca del 12% del volumen de la madera: invisibles a simple vista en la sección transversal y solo visible con lente; en el plano tangencial invisibles a simple vista, poco perceptibles con lente; no estratificados; reflejo muy poco contrastado. Radios todos homogéneos, poco numerosos. Radios uniseriados, extremadamente bajos, extremadamente finos y radios multiseriados muy frecuentes. Células de parénquima radial

de tipo procumbente, con escasos cristales. Ocasionalmente una célula radial se diferencia en célula perforada de radio, conectando dos vasos axiales en lados puestos del radio.

*Fibras*: Constituyendo cerca de 38% del volumen de madera; libriiformes, frecuentemente gelatinosas, con diminutas puntuaciones simples; cortas, estrechas de paredes espesas.

*Otros caracteres*: Máculas medulares poco frecuentes.

### **Análisis de los elementos estructurales del xilema**

#### *Vasos*

Las observaciones de los elementos de vaso concuerdan con las observaciones de Tortorelli (1956) y de Cozzo (1948). Los valores medios de diámetro dos vasos para *Prosopis alba* concuerdan con los observados por Giménez *et al.* (1998), mas los valores mínimos son diferentes, lo que puede ser debido a las condiciones del lugar de coleta. Los valores de longitud de los elementos de vaso son muy cortos, lo que según Carlquist (1988) está correlacionado con la disminución del diámetro de los elementos de vaso en especies xerófitas. Para *Prosopis nigra* las observaciones concuerdan con Marchiori *et al.* (2009).

El volumen ocupado por los vasos en la madera es bastante semejante en las especies estudiadas (12%), siendo un poco mayor para *P. nigra*.

En las especies de *Prosopis* se observaron elemento de vasos muy cortos a cortos, predominando estos últimos: las placas de perforación, son exclusivamente simples, de bordes en general lisos o con estrías tenues. En *P. vinalillo* ocasionalmente se observaron

placas de perforación con bordes ornamentados, en vasos de menor diámetro del leño tardío.

La presencia de puntuaciones intervasculares ornamentadas es un caso general para gran mayoría de las leguminosas. Los elementos de vaso de las especies estudiadas, además de la ornamentación en las puntuaciones y ocasionalmente en las placas de perforación, presentan estriaciones y ornamentaciones especiales en sus paredes. Estas estriaciones, muy poco perceptibles al microscopio óptico, fueron citadas por Record y Hess (1943). Castro en 1991, también reportó estas ornamentaciones a través de MEB en varias especies de *Prosopis*.

La observación de los elementos de vaso en el microscopio electrónico de barrido, mostró que las estriaciones ornamentadas están presentes en las tres especies estudiadas. La gran diversidad de tipos de ornamentación observada, sin embargo, no presentaron patrones específicos de valor diagnóstico, ya que varían en forma e intensidad de un vaso a otro y dentro de un mismo elemento de vaso. Estas estriaciones ornamentadas parecen ser una característica común de las especies de *Prosopis* semejándose a las observadas por Ohtani (1979), en *Albizia julibrissin* e *Caesalpinia japonica*.

Además las especies estudiadas presentan frecuentes vasos geniculados, que, en corte tangencial, muestran desvíos irregulares muy evidentes. Se observó en estas especies de *Prosopis* presencia ocasional de células perforadas de radio, esto es, de células radiales transformadas en elemento vascular que hace la conexión entre dos vasos axiales en lados opuestos de un radio. Estas observaciones de los elementos de vaso derivados de rediferenciación de células de parénquima axial

o de células radiales en las tres especies de *Prosopis*, concuerdan con la clasificación de elementos de vasculares presentada por Gomes *et al.* (1985).

#### *Parénquima axial*

En las especies estudiadas el parénquima axial es abundante, donde constituye cerca de 16% del volumen de la madera. En las especies estudiadas se presentan los tipos de parénquima axial seriado y fusiforme. Las series se componen generalmente de 2 células, pero también se pueden presentar series de 3 o 4 células: en todas es típicamente paratraqueal, desde vasicéntrico, aliforme hasta confluyente; parénquima apotraqueal y difuso también están presentes. Los monocristales de oxalato de calcio en cámaras son comunes en esas especies. El parénquima axial fue un carácter muy homogéneo en las tres especies de *Prosopis* estudiadas.

#### *Radios*

La estructura de los radios es bastante semejante en sus características generales. En ellas ocurren tanto radios uniseriados escasos, como multiseriados. Son todos de tipo homogéneo, constituidos exclusivamente de células procumbentes. El volumen ocupado por el tejido radial y la frecuencia de radios no variaron mucho entre las especies. Estos resultados difieren de los relatados por Giménez *et al.* (1998) que observó radios heterogéneos para *Prosopis alba*. Para *Prosopis nigra*, los valores de altura de los radios concuerdan con Marchiori *et al.* (2009) que observaron para los uniseriados altura de 15-65-145  $\mu\text{m}$ , y para los multiseriados altura de 88-360-746  $\mu\text{m}$ .

#### *Fibras*

Las fibras son siempre libriiformes, dotadas de puntuaciones simples, de abertura diminuta, más frecuentes en las caras radiales de la pared y desprovistas de características especiales en la pared

celular. Las especies presentan fibras gelatinosas, indicando madera de tensión. El volumen ocupado por el tejido fibroso es semejante entre ellas. *Prosopis alba* presenta un porcentaje de fibras más baja que la de parénquima axial.

## CONCLUSIONES

La madera de las especies de *Prosopis* estudiadas, de modo general, presentan gran homogeneidad estructural y concuerdan con las características generales de la subfamilia Mimosoideae. El análisis estadístico (95% de confianza) de los resultados de las mediciones no mostró diferencia estadística significativa entre las especies estudiadas.

El número de vasos/mm<sup>2</sup> fue un carácter bastante variable entre las especies, entre individuos de la misma especie. La longitud de los apéndices de los elementos de vaso no fue un carácter determinante para la identificación de las especies, sin embargo, es importante citar la presencia o ausencia de este carácter. En los casos de las puntuaciones intervasculares, radio-vasculares y parénquimo-vasculares es importante describir su forma, tipo, distribución y ornamentación.

Con MEB fue posible observar las puntuaciones y estriaciones ornamentadas de la pared de los elementos de vaso, concluyéndose que éstas son características constantes de las tres especies de *Prosopis* estudiadas.

La observación de las características anatómicas: porosidad en anillo semicircular, reducción en la altura de los elementos de vaso, la presencia de placas de perforación simples, horizontales o casi horizontales, las fibras libri-formes, los radios homogéneos, el parénquima axial paratraqueal aliforme y

confluente, permitieron considerar que las maderas de las especies de *Prosopis*, presentan un alto nivel de evolución filogenética.

Los caracteres vasos/mm<sup>2</sup>, diámetro tangencial de los vasos y longitud de los elementos vasculares son importantes en la caracterización de las especies, sin embargo, es preciso tener en consideración la influencia de las características edafo-climáticas del lugar de colecta, edad del árbol, situación de fuego y ataque de plagas.

## REFERENCIAS

- Belluomini, B.C. 1995. Posibles barreras preexistentes en *Prosopis alba* (Gris.) contra el ataque de *Criodion angustatum* Buquet (Coleóptera: Cerambycidae) en comparación con *Prosopis nigra* (Gris). Quebracho 3:65-68.
- Bravo, S., C. Kunst y R. Grau. R. 2008. Suitability of the native woody species of the Chaco region, Argentina, for use in dendroecological studies of fire regimes. Dendrochronologia 26:43-52.
- Burger, L. M. 1979. Estudo anatômico do xilema secundário de sete espécies do gênero *Dalbergia*, Leguminosae-Faboideae. Curitiba. Dissertação de mestrado. UFPR. Curso-Pos-graduação em Engenharia Florestal. 184 p.
- Carlquist, S. 1975. Ecological strategies of xylem evolution. Univ. California Press. Berkeley, 259 pp.
- Carlquist, S. 1988. Comparative wood anatomy. Systematic, Ecological and evolutionary aspect of Dicotyledons wood. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 460 p.



- Castro, M. A. 1991. Ultrastructure of vestures on the vessel wall in some species of *Prosopis* (Leguminosae - Mimosoideae). IAWA Bulletin. Vol 12(4):425-430.
- Cozzo, D. 1948. Estructura leñosa estratificada no registrada en géneros de leguminosas argentinas. Lilloa. 16:63-95.
- D'Anroni, H.L.D. y O.T. Solbrig. 1977. Algarrobos in South American cultures: past and present. In: B.B. Simpson (ed.), Mesquite, its biology in two desert scrub ecosystems. USI IBP Synthesis 4:189-200. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.
- D'Augero, G., C. Sosa, y R. Ávila. 2008. Secado artificial de maderas nativas del Parque Chaqueño. Quebracho 15:68-70.
- Dujardin, E.P. 1964. Eine neue Holz-Zellulosenfaerbung. Mikrokosmos. 53:94.
- Freund, H. 1970. Handuch der Mikroskopie in der Technik. Frankfurt, Umschan Verlag, 379 p.
- Gomes, A., L. Teixeira y G.E. Schaitza. 1985. Types of vessels and vessel elements according to origin and position. In: Pan American Regional Wood Anatomy Conference-IAWA.
- Giménez, A. M. 2005. El desafío de conservar la biodiversidad vegetal en ambientes naturales del Chaco Santiagueño. In: Gianuzzo, Ludueña. FCF. UNSE. Santiago del Estero, Una Mirada Ambiental. Santiago del Estero, Argentina. pp. 191-206.
- Giménez, A. M., P. Hernández, R. Gerez y N.A. Ríos. 2007. Diversidad vegetal en siete unidades demostrativas del Chaco semiárido argentino. Madera y Bosques 13(1), 2007: 61-78.
- Giménez, A. M., N. Ríos, G. Moglia y C. López. 1998. Leño y corteza de *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. Bosque 19(2):53-62.
- Giménez, A.M., G. Moglia, P. Hernández y S. Bravo. 2000. Leño y la corteza de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron, Mimosaceae, en relación a algunas magnitudes dendrométricas. Rev. Forest. Venez. 44(2):29-37.
- IAWA Committee. 1989. List of microscopic features for Hardwood identification. IAWA Bulletin n.s. 10:219-332.
- Ledesma, T., G. De Bedia y C. López. 2008. Productividad de *Prosopis alba* Griseb. en Santiago del Estero. Quebracho 15:5-9.
- Marchiori, J.N., G.I.B. Muñiz y S.R. Santos. 2009. Madeiras do Rio Grande do Sul. 1- Descrição microscópica de 33 espécies nativas. Santa Maria - RS.
- Moglia, G. y A. Giménez. 1998. Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la región chaqueña Argentina. Invest. Agr. Sist. Recur. For. 7 (1/2):53-71.
- Munsell Color. 1952. Munsell color chart for plant tissues. Baltimore. 19 p.
- Ohtani, J. 1979. Study of warty layer by the scanning electron microscopy II. Wood Res. Soc. 2:72-75.
- Record, S. J. y R.W. Hess. 1943. Timbers of the new world. New Haven, Yale University Press. 640 p.

- Roig, F. A. 1993. Aportes etnobotánicos del género *Prosopis*. Contribuciones mendocinas a la Región para América Latina y el Caribe de la Red de Forestación del CIID-IADIZA, CRICYT, CIID, Mendoza, Argentina, p. 99-119.
- Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques Argentinos. Administración Nacional de Bosques. Editorial ACME, Buenos Aires. 910 p.

Manuscrito recibido el 28 de marzo de 2009

Aceptado el 5 de agosto de 2010

Este documento se debe citar como:

Bolzon de Muniz, G.I., S. Nisgosky y M.G. Lomeli-Ramírez. 2010. Anatomía y ultraestructura de la madera de tres especies de *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) del Parque Chaqueño seco, Argentina. *Madera y Bosques* 16(4):21-38.