

# Multequina

*Latin American Journal of Natural Resources*



**9 (2)**

Mendoza  
2000

**Editor:** Ing. Eduardo Martínez Carretero

Comité Editorial  
Editorial Board

Dr. Bosa López (Univ. Granada, España), Dr. R. Braun (U.N. Jujuy - CONICET), Dr. J. Cei (Turín, Italia), Dr. J. Crisci (U.N. La Plata), Lic. R. Delfino (Sec. Rec. Nat. y A. H.), Dr. P. Felker (Gob. de Sgo. del Estero), Prof. G. Ferro (Univ. Di Catania, Italia), Ing. R. Fortunato (CONICET), Dr. Le Houerou (Francia), Lic. J. Iwaszkiw (ILPLA-CONICET), Dr. J. Morello (U. CAECE-CONICET), Ing. R. Palacios (CONICET), Ing. F. Roig (IADIZA-CONICET), Dr. S. Roig Juñent (IADIZA-CONICET), Dra. B. Rhutsatz (U. Trier, Alemania), Dra. B. Saidman (UBA-CONICET), Dr. J. Sayago (As. Geol. Arg.), Ing. R. Tizio (Fac. Cs. Agr.-CONICET), Ing. S. Trione (IADIZA-CONICET), Lic. L. Triviño (U. Nac. Cuyo), Dr. F. Valle Tendero (U. Granada, España), Dr. R. Villalba (IANIGLA-CONICET).

Tapa: Algarrobo dulce (*Prosopis flexuosa* var. *flexuosa*), Lagunas del Rosario, Lavalle, Mendoza - (adaptación parcial autorizada del original) - Foto: Máximo Arias

## GOBIERNO DE MENDOZA

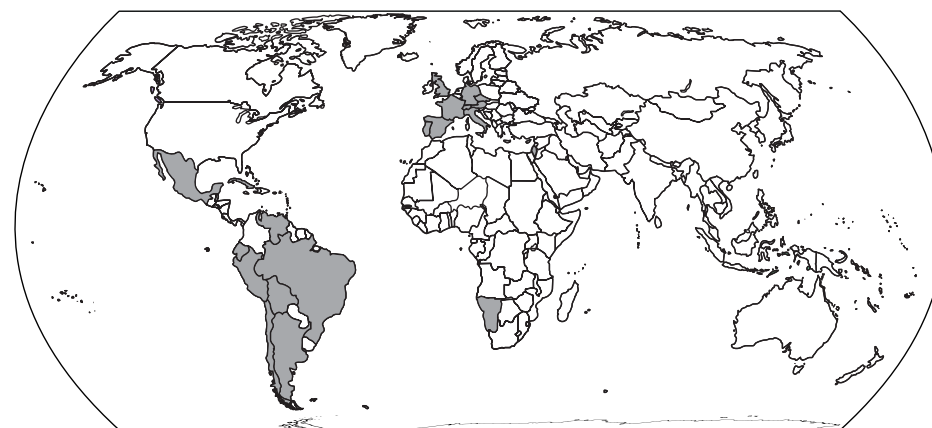
Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas  
Dirección de Recursos Naturales Renovables

Multequina

Latin American Journal of Natural Resources integra el Catálogo y Directorio LATINDEX, es indizada por CABI, INIST, EBESCO.

Queda hecho el depósito que marca la Ley 11723

Inscripto en el Registro de la Propiedad Intelectual n° 227396



Distribution area

Área de distribución



Edición parcialmente financiada  
por la Fundación CRICYT



# DENDROECOLOGÍA Y DENDROCLIMATOLOGÍA CON ESPECIES DEL GÉNERO *PROSOPIS* EN ARGENTINA

*DENDROECOLOGY AND DENDROCLIMATOLOGY  
OF PROSOPIS SPECIES FROM ARGENTINA*

R. VILLALBA, P.E. VILLAGRA, J.A. BONINSEGNA,  
M.S. MORALES Y V. MOYANO

Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental. IANIGLA-CRICYT.  
CC.330. 5500. Mendoza, Argentina. e-mail: ricardo@lab.cricyt.edu.ar

## RESUMEN

El empleo de los anillos de crecimiento de las plantas leñosas permite cuantificar en forma precisa las velocidades del crecimiento radial de los árboles en diferentes ambientes naturales, así como determinar diferencias en las estructuras poblacionales del bosque con relación a factores tales como el suelo, los disturbios y el clima. La identificación de anillos de crecimiento en especies del género *Prosopis* varía entre las especies, entre individuos de una misma especie y aún entre sectores del fuste de un mismo individuo. Esta enorme variabilidad refleja, muy probablemente, la gran plasticidad y adaptabilidad a diferentes ambientes que caracteriza a los miembros de este género. En muchas especies de *Prosopis*, los anillos de crecimiento están definidos por arreglos de los elementos leñosos que resultan de la sola ocurrencia, o la combinación, de diversos patrones tales como la presencia de vasos de mayor tamaño en el leño temprano, la ocurrencia de porosidad semicircular a circular y la existencia de bandas de tejido parenquimático terminal. En aquellas especies con anillos visibles, estudios de la actividad cambial y el fechado de árboles de edad conocida han permitido establecer el carácter anual de las bandas de crecimiento. Sin embargo, del material examinado en esta revisión temática se desprende que el leño de las especies de *Prosopis* tiene un alto potencial como fuente de información sobre las fluctuaciones pasadas del clima, la ecología de las masas boscosas y las actividades de las poblaciones humanas que habitaron las bastas regiones áridas y semiáridas de América del Sur.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, estructura anatómica de la madera, aplicaciones dendroecológicas, aplicaciones dendroclimatológicas.

## ABSTRACT

*Tree rings are a useful tool to quantify the rate of radial growth of trees at different environments and to determine differences in stand population structures in responses to factors such as soil, disturbance and climate. However, to precisely date a piece of wood, tree rings need to be clearly identified. The determination of tree rings in Prosopis species vary between species, between individuals of the same species, and sometimes between radii from the same tree. This large variability likely reflects the broad plasticity and adaptability of Prosopis trees to different environmental conditions. Tree rings in Prosopis species are determined by several patterns or anatomical arrays such as larger vessels in the earlywood tending to produce circular to semi-circular porosity, and the presence of strands of terminal parenchyma. In Prosopis species with clear bands, long-term studies of cambial activity and the dating of trees of known ages have allowed to determine the annual nature of tree rings.*

*Although the number of studies on forest ecology and dendroclimatology using Prosopis species is increasing, the application of Prosopis wood in these fields is still limited to few cases. However, the material reviewed in this paper indicated that Prosopis species show a high potential as a source of information on past climate fluctuations, forest ecology and human-environment relationships in the extended arid and semiarid regions of South America.*

*Key words: Tree rings, wood anatomy, dendroecology, dendroclimatology.*

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente los estudios dendrocronológicos se han desarrollado en las regiones templadas y frías, donde existe una marcada estacionalidad climática. Las coníferas ocuparon un lugar predominante en el desarrollo de la Dendrocronología debido a la simplicidad de su estructura leñosa, lo que facilita en gran medida la visibilidad de sus anillos de crecimiento (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988). Las latifoliadas fueron incorporadas más recientemente en estudios dendrocronológicos con el objeto de extender la cobertura espacial de los registros de anillos de árboles, particularmente a las regiones subtropicales. Las especies del género *Prosopis* se distribuyen ampliamente en la región subtropical de América de Sur y muchos de sus integrantes constituyen elementos dominantes del estrato arbóreo en las provincias fitogeográficas del Monte, del Chaco y del Espinal.

Son muchas las razones por las cuales es necesario fechar y medir las variaciones en el crecimiento de los bosques de *Prosopis*. Todo estudio que requiera información sobre la estructura de edad y la dinámica de los bosques naturales de *Prosopis*,

determinar sus turnos de aprovechamiento, establecer las relaciones entre crecimiento leñoso, fructificación y variaciones climáticas entre otras, o simplemente la reacción de un bosque a un tratamiento silvícola determinado, necesita del fechado y la evaluación de los ritmos pasados y presentes del crecimiento. A esta lista se suma la necesidad de desarrollar reconstrucciones dendroclimáticas en áreas donde los bosques de *Prosopis* son la única fuente de información paleoclimática disponible con resolución anual y adecuada longevidad. Dada la estrecha relación que ha existido por siglos entre las culturas indígenas, sus actividades y los bosques de *Prosopis*, el fechado de yacimientos arqueológicos con maderas de *Prosopis* es otro de los requerimientos actuales de la Dendrocronología en América del sur.

La correcta identificación de los anillos de crecimiento en las plantas leñosas es una condición indispensable para el fechado absoluto de la madera. Si no es posible delimitar precisamente los anillos en el leño, las técnicas dendrocronológicas se tornan estimativas y pierden su carácter de datación absoluta con resolución anual. Sin embargo, la precisión requerida en el fechado de la madera varía en función de los objetivos establecidos en cada estudio.

En estudios dendroecológicos que intentan caracterizar la estructura de edad de los árboles de un rodal no siempre es preciso fechar los individuos en forma absoluta. Por ejemplo, si se intenta evaluar el régimen de regeneración de un bosque, una estimación de las edades de los árboles con un error de 1 ó 2 décadas podría considerarse adecuada. Esta precisión es válida ya que en la práctica, para efectuar la interpretación de la estructuras de edad de un bosque, las edades de los árboles suelen agruparse comúnmente en clases etarias que van desde los 10 a 20 años (Kitzberger *et al.*, 2000). En árboles muy longevos y de lento crecimiento, las edades de los individuos pueden llegar a reunirse en clases de hasta 50 años. Estos niveles de precisión son generalmente adecuados cuando se intenta relacionar variaciones en la estructura de edad de un bosque con evidencias independientes de grandes disturbios, tales como fuegos catastróficos, vientos muy intensos o severos ataques de insectos que destruyen todos los árboles de un rodal y, por consiguiente, dan origen a nuevas poblaciones forestales. Sin embargo, en otras situaciones es necesario determinar la edad de los árboles con un nivel de precisión mucho mayor. Así por ejemplo, si nuestro interés es establecer la relación entre el momento de establecimiento de los árboles y las variaciones climáticas interanuales, la edad de los árboles debe ser determinada con un nivel de precisión anual o absoluta.

Por el contrario, la datación absoluta es condición fundamental en todo estudio dendroclimatológico. De esa forma, las variaciones anuales o estacionales en el clima pueden ser reconstruidas con precisión absoluta, requisito indispensable para establecer la existencia de oscilaciones en el clima y las relaciones entre estas variaciones y los factores climáticos que operan en diferentes escalas temporales y espaciales.

## DIFICULTADES EN EL FECHADO DE LA MADERA DE *PROSOPIS*

Las especies del género *Prosopis* poseen un tejido leñoso complejo en el cual la determinación de sus anillos de crecimiento no siempre es simple y sencilla. En una primera aproximación, podríamos reconocer, en el corte transversal de la madera de *Prosopis*, tres elementos constitutivos mayores: vasos, parénquima y fibras (Figura 1).

El observador debe tener en cuenta el arreglo espacial de estos elementos en el leño para delimitar los anillos de crecimiento. En la mayoría de las especies de *Prosopis* pueden observarse diferencias en el arreglo de los elementos constitutivos entre el leño temprano, formado al comienzo del ciclo de crecimiento, y el leño tardío. El leño temprano está caracterizado por vasos relativamente de gran tamaño embebidos o no en tejido parenquimático. El leño tardío presenta, por lo general, vasos de tamaño pequeño y un porcentaje mayor de fibras libriiformes. La presencia de una banda de tejido parenquimático terminal es un elemento bien definido en numerosas especies (Figura 1). Muchas veces estos arreglos de los elementos leñosos no se repiten entre

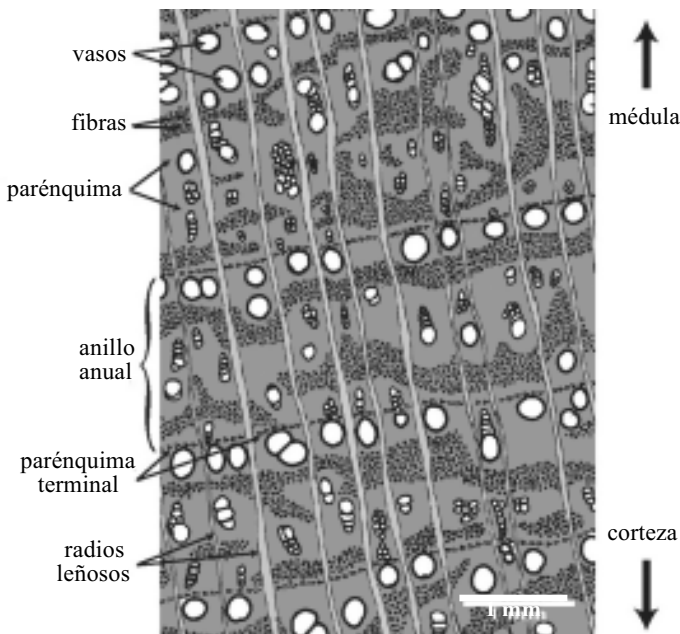


Figura 1. Representación esquemática de la estructura leñosa de *Prosopis flexuosa*, donde se muestran los elementos constitutivos del leño y su arreglo particular con relación a la delimitación de los anillos de crecimiento

Figure 1. Simplified diagram showing the major constitutive elements of the wood structure of *Prosopis flexuosa* and their arrays in relation to tree-ring delimitation

individuos de una misma especie y aun entre anillos de un mismo árbol, por lo que los patrones mencionados resultan, a veces, inciertos.

## **ANILLOS DE CRECIMIENTO EN ESPECIES DEL GÉNERO *PROSOPIS***

En la Tabla 1 se ha condensado la información publicada sobre anillos de crecimiento en especies del género *Prosopis*. La lista, que ha sido ordenada sobre la base de las secciones del género, incluye 25 especies. Se observa que la mayoría de las especies poseen anillos visibles o parcialmente demarcados. La presencia de parénquima terminal y de vasos de mayor diámetro al comienzo de las bandas de crecimiento (porosidad semicircular) son los caracteres más frecuentemente asociados con la delimitación de los anillos en el leño de *Prosopis* (Figura 2). Es importante destacar que los diferentes autores no siempre coinciden en su apreciación sobre la delimitación de los anillos (ver por ejemplo *P. ferox*, *P. kuntzei* y *P. ruscifolia*). Este hecho refleja sin duda la gran variabilidad en la estructura del leño de las especies de *Prosopis*, las diferencias geográficas o de condiciones de sitio entre colecciones y el sector (central o exterior) del cual fueron tomadas las muestras a lo largo de la sección transversal de los árboles.

Nuestra experiencia indica que la delimitación de los anillos de crecimiento en especies de *Prosopis* se dificulta a medida que aumenta la edad de los individuos (Villalba y Boninsegna, 1989). Los anillos formados en la etapa juvenil del árbol son más anchos, mantienen su uniformidad circular y muestran mayores diferencias entre el leño formado al comienzo y final de la estación de crecimiento. Por el contrario, a medida que aumenta la edad del árbol, los anillos disminuyen de espesor y los patrones que caracterizan al leño temprano y tardío se hacen menos evidentes (Figura 3).

## **PERIODICIDAD EN LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO**

Definido el arreglo de los elementos leñosos asociados a la formación de bandas en el leño, es aún necesario precisar la periodicidad en la formación de estas bandas de crecimiento. Es muy probable que las bandas de crecimiento sean anuales en aquellos árboles que crecen en regiones frías o templadas, con una marcada estacionalidad en la temperatura, y donde el período de crecimiento del leño se ve limitado sólo a 2-3 meses en el año. Por el contrario, en regiones subtropicales o tropicales, con ciclos de crecimiento más prolongados, es posible que los árboles formen dos o más bandas de crecimiento por año (Jacoby, 1989). Con el objeto de precisar la naturaleza anual de las bandas de crecimiento identificadas en muestras de *Prosopis flexuosa* en la provincia de Mendoza, se procedió a estudiar la formación del leño en esta especie y establecer su relación con las fases fenológicas (Villalba, 1985).

El seguimiento de la actividad cambial en ejemplares de *P. flexuosa* que crecen en Ñacuñan, Mendoza, muestra que el período de inactividad invernal es seguido por una

Tabla 1. Anillos de crecimiento en especies del género *Prosopis*

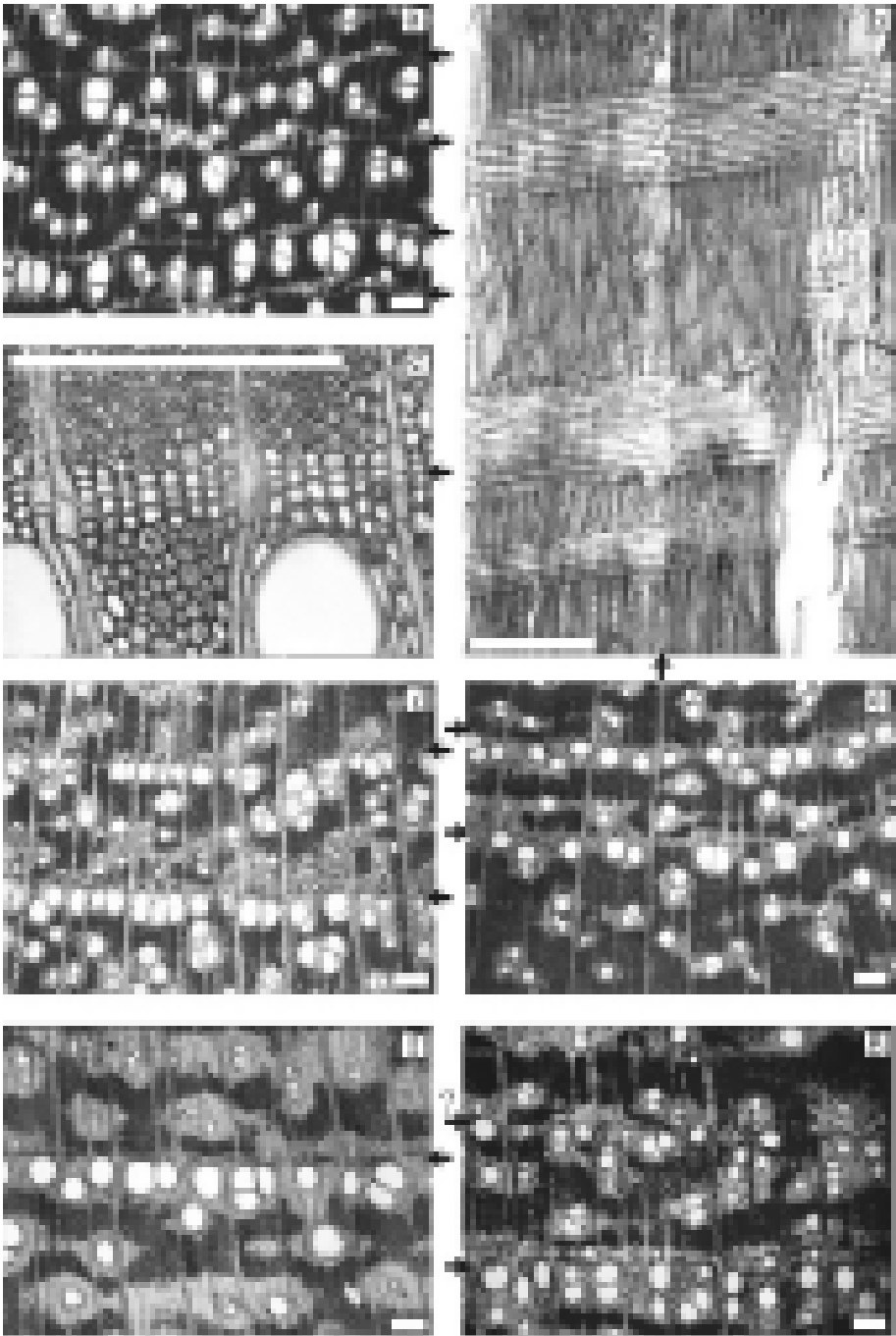
Table 1. Tree-ring characteristics of *Prosopis species*

| <b>SECCIÓN STROMBOCARPA</b> |  |
|-----------------------------|--|
| <i>P. strombulifera</i>     | No demarcados, arcos incompletos delimitados por parénquima axial terminal aproximadamente apotraqueal (C)   |
| <i>P. reptans</i>           | Incompletos y en arcos, demarcados por fibras y parénquima terminal (C)  |
| <i>P. torquata</i>          | Visibles, delimitado por parénquima terminal y fibras iniciales (C).   |
| <i>P. ferox</i>             | - Poco delimitados por parénquima axial y fibras terminales (C).<br>- Demarcados por una banda de tejido parenquimático terminal de color más claro que el tejido fibroso circundante (M. et al.).   |
| <b>SECCIÓN MONILICARPA</b>  |  |
| <i>P. argentina</i>         | - Delimitados por parénquima terminal (C)<br>- Visibles, parénquima terminal aplastado radialmente y mayor diámetro de los vasos de primavera (V y R)  |
| <b>SECCIÓN ALGARROBIA</b>   |  |
| <i>P. sericantha</i>        | Delimitados por arcos de parénquima terminal (C)   |
| <i>P. kuntzei</i>           | - Poco demarcados por parénquima terminal (C)<br>- Visibles, fibras tangenciales más oscuras, parénquima marginal y porosidad semi-circular (B de M)<br>- Demarcados por los poros de mayor diámetro en el principio de cada anillo de crecimiento (T) |
| <i>P. ruscifolia</i>        | - Poco demarcados e incompletos (C)<br>- Visibles porosidad circular y parénquima marginal (B de M)<br>- Demarcados (T)  |
| <i>P. vinalillo</i>         | - Poco visibles o no presentes, vasos de mayor diámetro en primavera y parénquima marginal (B de M).   |
| <i>P. hassleri</i>          | Poco demarcados por parénquima terminal, en gran parte cristalíferos (C)   |
| <i>P. denudans</i>          | Demarcados por parénquima terminal y por el mayor diámetro de los vasos de primavera (C).  |
| <i>P. ruizleali</i>         | Poco demarcados, son incompletos, sinuosos y están delimitados por el mayor diámetro de los vasos de primavera, por fibras y por parénquima axial cristalífero (C).  |
| <i>P. castellanosii</i>     | Demarcados por parénquima terminal (C)   |
| <i>P. calingastana</i>      | Delimitados por fibras y parénquima terminal a veces cristalífero (C)  |
| <i>P. humilis</i>           | Demarcados por el mayor diámetro de los vasos de primavera y por parénquima terminal (C)   |



|                        |  |
|------------------------|--|
| <i>P. affinis</i>      | Poco demarcados (C)  |
| <i>P. elata</i>        | Delimitados por parénquima terminal (C)  |
| <i>P. chilensis</i>    | Delimitados por parénquima terminal y por los vasos de mayor diámetro en primavera (C)   |
| <i>P. nigra</i>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Delimitados por parénquima terminal y por el mayor diámetro de los vasos de primavera (C)</li> <li>- Visibles, agrupación de poros de mayor diámetro, reducción del diámetro radial de fibras al termino del anillo y la formación de parénquima marginal inicial (B de M)</li> <li>- Visibles y demarcados (T)</li> <li>- Demarcado por una banda de parénquima terminal (G de B)</li> </ul> |
| <i>P. caldenia</i>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Delimitados por parénquima axial terminal y mayor diámetro de los vasos de primavera (C)</li> <li>- Demarcados por la diferencia de tamaño entre los poros de leño temprano (grandes) y los del leño tardío (pequeños) (T)</li> </ul>   |
| <i>P. laevigata</i>    | Distinguibiles por diferencias en el diámetro de vasos y presencia de parénquima terminal (R)  |
| <i>P. flexuosa</i>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poco demarcados por parenquima terminal y el mayor diámetro de los vasos de primavera (C)</li> <li>- Visibles debido al arreglo de leño temprano vs. tardío, pequeña banda de tejido parenquimático terminal aplastadas en sentido radial (V)</li> </ul>  |
| <i>P. alpataco</i>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Delimitados por parénquima axial terminal y mayor diámetro de los vasos de primavera (C)</li> <li>- Visibles, parénquima terminal aplastado radialmente y mayor diámetro de los vasos de primavera (V y R)</li> </ul>   |
| <i>P. alba</i>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Delimitados por parénquima axial terminal cristalífero y mayor diámetro de los vasos de primavera (C)</li> <li>- Visibles, faja continua de parénquima axial y vasos de mayor tamaño. (B de M)</li> <li>- Demarcados (T)</li> </ul>   |
| <i>P. algarrobilla</i> | Demarcados (T)   |

Fuentes: (C): Castro (1994); (B de M): Bolzón de Muñiz (1986); (G de B): Giménez de Bolzón (1994); (M et al.): Morales, *et al.* (2001); (R): Roig (2000); (T): Tortorelli (1956); (V y R): Villagra y Roig (1997); (V) Villalba (1985).



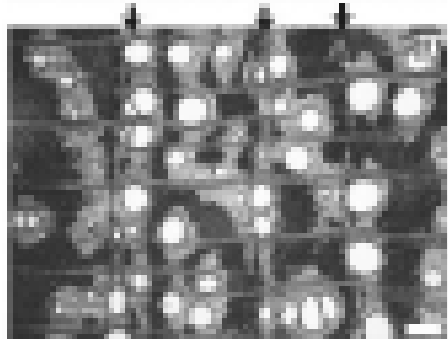
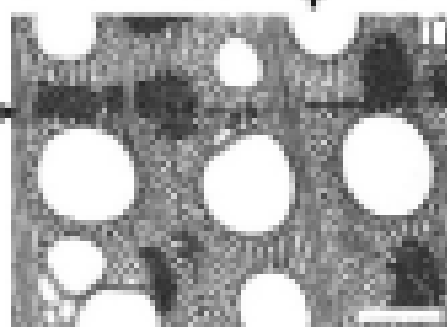
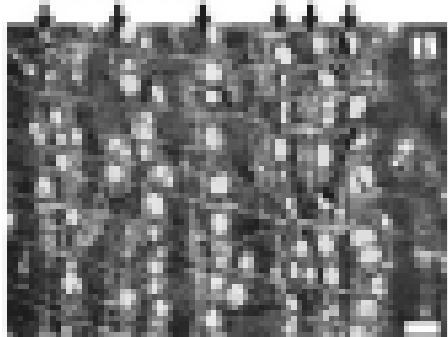
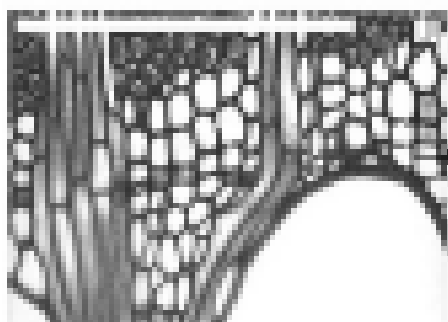
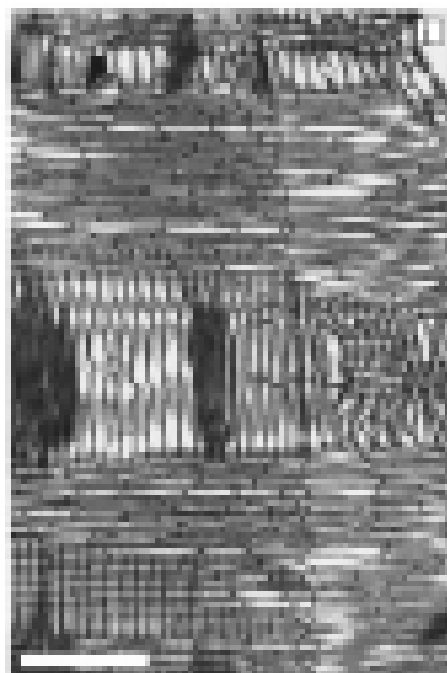
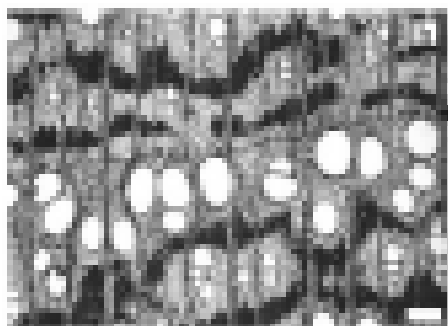
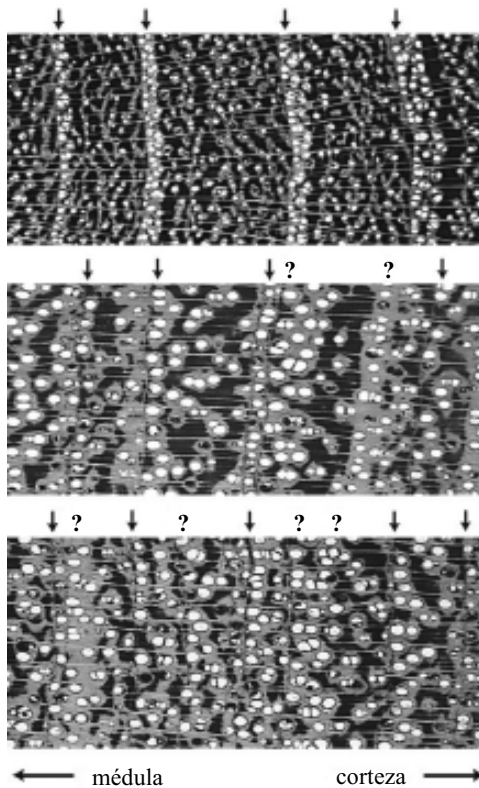


Figura 2. Anillos anuales de crecimiento en especies del género *Prosopis*. **Sección Strombocarpa. *P. ferox***: (a) xilema en corte transversal (CT) donde se observan anillos de crecimiento definidos por bandas continuas de parénquima terminal (flechas); (b) xilema en corte longitudinal radial (CLRd) que muestra la alineación vertical de las células radiales procumbentes formadas al final (izquierda) e inicio (derecha) de un anillo de crecimiento (flecha) (note la presencia de células cristalíferas de parénquima terminal en el límite de los anillos de crecimiento); (c) xilema en CT con detalle de la banda de tejido parenquimático terminal. **Sección Monilicarpa. *P. argentina***: (d) xilema en CT con anillos definidos por vasos agrupados en porosidad circular (flechas). **Sección Algarrobia. *P. denudans***: (e) xilema en CT mostrando bandas de crecimiento demarcadas por parénquima terminal (flechas); ***P. chilensis***: (f) xilema en CT con detalle del límite entre dos ciclos de crecimiento (flecha); ***P. nigra***: (g) xilema en CT ilustrando límites bien definidos (flecha inferior) e imprecisos (flecha superior con signo de interrogación [?]) entre anillos de crecimiento; ***P. caldenia***: (h) xilema en CT donde se observa el límite entre dos bandas de crecimiento producto del aplastamiento radial de células del parénquima terminal y vasos agrupados en porosidad circular (flecha), (i) xilema en CLRd que muestra la alineación vertical de las células radiales procumbentes formadas al final (izquierda) e inicio (derecha) de un anillo de crecimiento (flecha) (note la presencia de células cristalíferas de parénquima terminal en el límite de los anillos de crecimiento), (j) xilema en CT con detalle de la banda de células parenquimáticas terminales que contiene cristales en su interior (flecha); ***P. flexuosa***: (k) xilema en CT con bandas de crecimiento diferenciadas (flechas verticales), (l) xilema en CT con detalle del arreglo de los elementos del leño entre dos bandas de crecimiento (flecha); ***P. laevigata***: (m) xilema en CT con dos bandas de crecimiento bien definidas (flechas a la izquierda y derecha) y una más difícil de precisar (flecha central); ***P. alpataco***: (n) xilema en CT mostrando dos límites (flechas) entre bandas de crecimiento definidos por el arreglo de los vasos al comienzo de la banda de crecimiento y la presencia de parénquima terminal. En cada figura, la barra blanca representa 0.2 mm

Figure 2. Tree rings of *Prosopis* species. **Section Strombocarpa. *P. ferox***: (a) Cross-section (C-S) showing tree rings delimited by continuous strings of terminal parenchyma (arrows); (b) radial-section (R-S) showing the vertical array of procumbent radial cells at the end (left) and beginning (right) of an annual band (arrows) (note the presence of crystal strings, Ca-oxalate, contained in terminal parenchyma cells); (c) enlarged view of the terminal parenchyma cells. **Section Monilicarpa. *P. argentina***: (d) C-S showing tree rings determined by vessel arrays in circular porosity (arrows). **Section Algarrobia. *P. denudans***: (e) C-S showing growth bands delimited by terminal parenchyma (arrows); ***P. chilensis***: (f) C-S showing the border between rings (arrow); ***P. nigra***: (g) C-S showing well-demarcated (lower arrow) and diffuse (upper arrow with question mark [?]) tree-ring boundaries; ***P. caldenia***: (h) C-S showing the tree-ring border resulting from the narrowing of terminal parenchyma cells in combination with vessel arranged in circular porosity (arrow), (i) R-S showing the vertical strings of procumbent radial cells at the end (left) and beginning (right) of a growth band (arrow) (note the presence of crystals embedded in terminal parenchyma at the end of the ring), (j) C-S, enlarged view of terminal parenchyma cells containing rhombohedral crystals (arrow); ***P. flexuosa***: (k) C-S showing growth bands (vertical arrows), (l) C-S, enlarged view of the border between two bands (arrow); ***P. laevigata***: (m) C-S showing a diffuse (central arrow) and two well-defined (left and right arrows) tree-ring borders; ***P. alpataco***: (n) C-S showing two borders (arrows) between annual rings determined by the vessel arranged in circular porosity in combination with terminal parenchyma. Scale bars = 0.2 mm



**a** Figura 3. Sectores central (a; próximo a la médula), medio (b) y externo (c; próximo a la corteza) de la sección transversal del tronco de un individuo de *Prosopis flexuosa* proveniente de la localidad de Pipanaco, provincia de Catamarca. Los límites entre las bandas anuales de crecimiento han sido señalados por flechas verticales. La delimitación de los anillos de crecimiento se dificulta con la edad, como lo demuestra el número creciente de situaciones de difícil definición, indicadas con un símbolo de interrogación (?), en los sectores medio y externos

**b**

**c**

Figure 3. Central (a; next to the pith), middle (b) and outer (c; next to bark) sectors in a cross section of *Prosopis flexuosa* from Pipanaco, Catamarca Province. Arrows indicate the boundaries between annual rings. Difficulties in tree-ring determination increase with tree age as reflected by the increasing number of not well-defined boundaries, indicated by question marks (?), in the middle and outer sectors

reactivación del cambium a fines de octubre (Figura 4). La actividad cambial alcanza su mayor nivel de producción de tejido leñoso en noviembre-diciembre y declina en abril. La actividad cambial coincide con el ciclo climático y las fases fenológicas. El período de dormancia cambial ocurre en los meses secos y más fríos del año cuando el follaje es mínimo o nulo. El pico máximo de producción de madera ocurre en los meses de noviembre y diciembre, coincidente con el inicio de las precipitaciones de verano, casi un mes después de haberse iniciado la brotación y concurrente con la fase de floración. Los vasos de grandes diámetros que caracterizan el leño temprano comienzan a lignificarse en las primeras semanas de noviembre, sin embargo su diferenciación ocurre varios días antes. En mayo, las células cambiales retoman la estructura característica del período de dormancia luego de que una pequeña banda de parénquima terminal fue formada. En consecuencia, el arreglo de los elementos leñosos a lo largo de las bandas observadas en la madera de *P. flexuosa* responden a la ciclicidad anual en la actividad cambial, la que a su vez está estrechamente ligada al ciclo climático (Villalba, 1985).

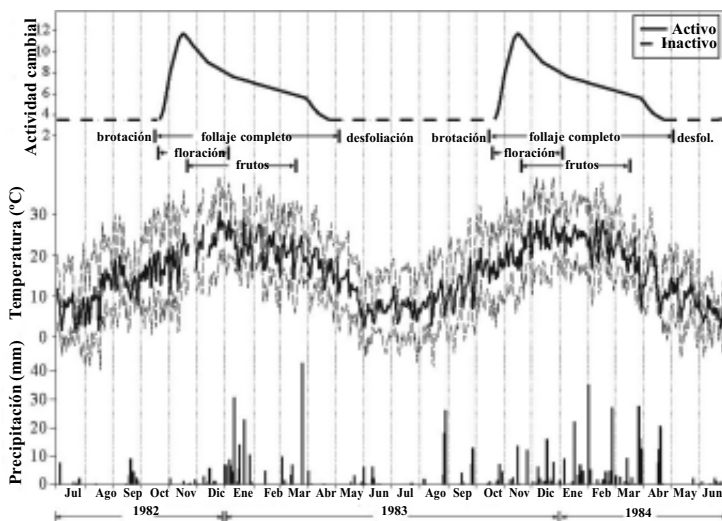


Figura 4. Actividad cambial en *Prosopis flexuosa* y su relación con las fases fenológicas y las variaciones anuales en la temperatura y la precipitación en la Reserva de Ñacuñán, Santa Rosa, Mendoza. Modificado de Villalba (1985)

Figure 4. Cambial activity in *Prosopis flexuosa* and its relationships with phenology and climate. Temperature and precipitation fluctuations from Ñacuñán weather station. Modified from Villalba (1985)

Flinn *et al.* (1994) aplicaron una metodología alternativa para establecer el carácter anual de las bandas de crecimiento en *P. glandulosa*. Secciones transversales, provenientes de ejemplares de edad conocida, fueron fechadas dendrocronológicamente en base al arreglo de los elementos leñosos constitutivos. En promedio, las diferencias entre las edades establecidas en base al conteo de los anillos de árboles y las edades de las plantaciones fueron de 2.5 años. En ningún caso, el número de anillos excedió la edad conocida del rodal, sugiriendo que no se produjeron falsos anillos en las muestras examinadas.

## DENDROECOLOGÍA CON ESPECIES DEL GENERO *PROSOPIS*

Aun cuando existen para la Argentina trabajos de la década del 1930 que hacen referencia al uso de los anillos de árboles de *Prosopis* como posibles registros de las variaciones climáticas (Krebs y Fischer, 1931), los primeros estudios dendrocronológicos se iniciaron con *P. flexuosa* en la década de 1980 (Villalba y Boninsegna, 1989). Posteriormente los estudios se extendieron a otras especies del género *Prosopis* y el fechado de las bandas anuales de crecimiento fue testado en numerosas especies, incluyendo *P. caldenia* en La Pampa, *P. chilensis* en San Juan, *P. alba* en Córdoba, *P. denudans* en Chubut y *P. ferox* en Jujuy.

La aplicación de técnicas dendrocronológicas en estudios ecológicos y de manejo forestal con especies del género *Prosopis* es reciente. Estudios pioneros a fines de la década de 1980 hicieron uso de los anillos de árboles para determinar la productividad anual del bosque y la edad de culminación del crecimiento de *P. flexuosa*, en el Chaco Árido argentino. Perpiñal *et al.* (1995) observaron, para sitios del Chaco Árido con precipitaciones cercanas a los 500 mm, un incremento sostenido en el crecimiento diametral de *P. flexuosa* hasta los 24 años de edad para luego declinar lentamente. El máximo crecimiento leñoso, calculado en base a los incrementos en áreas basales, fue de 2.7 dm<sup>3</sup> a los 70 años cuando los árboles alcanzaron un diámetro promedio de 30 cm. En base a estos resultados, Perpiñal *et al.* (1995) sostienen que el turno de aprovechamiento de *P. flexuosa* debería ser mayor al que se acostumbra en la región. Es importante destacar la gran variación observada en el crecimiento radial entre los árboles del bosque.

Dussart, Lerner y Peinetti (1998) usaron una combinación de técnicas dendroecológicas para determinar los factores que están favoreciendo el aumento de la densidad de *P. caldenia* y la invasión por esta especie de pastizales en la provincia de La Pampa. Las estructura de edades de dos poblaciones de *P. caldenia*, construidas sobre la base del conteo de los anillos de crecimiento de los individuos muestreados, fueron relacionadas con las historias de fuego, los cambios en el manejo ganadero y las fluctuaciones locales en las precipitaciones. Los autores encontraron que las variaciones registradas en las tasas de establecimiento de *P. caldenia* coincidieron principalmente con cambios en el tipo de ganado, de ovino a vacuno. El efecto del fuego varió entre los sitios muestreados, pero en ningún caso alteró las tendencias de establecimiento. No se observaron relaciones entre la dinámica de las poblaciones de *P. caldenia* y las variaciones en la precipitación.

El conteo y la medición del ancho de los anillos de crecimiento en ejemplares de *P. flexuosa* son empleados actualmente para establecer la dinámica de los bosques en diferentes ambientes de la provincia de Mendoza (Villagra *et al.*, 2000). Aunque existe una gran variabilidad en el crecimiento entre árboles, el crecimiento radial en la Reserva de Telteca (Lavalle) es mayor que en la Reserva de Ñacuñan (Santa Rosa), lo que refleja muy probablemente la mayor disponibilidad de agua de origen freático en la primera localidad (Figura 5).

El crecimiento corriente de *P. flexuosa* es muy variable entre los distintos bosques. No obstante se observa que los valores medios de crecimiento disminuyen de norte a sur a lo largo de la provincia del Monte. Para ejemplares de aproximadamente 60 años de edad los incrementos diamétricos corrientes medios varían desde 8 mm en los Valles Calchaquies (26°S), 6 mm en Pipanaco (28°S), 4 mm en Telteca (32.5°S) hasta 2 mm en Ñacuñan (34°S) (Calzón Adorno, 1995; Villagra y Coni, en preparación, Villagra *et al.*, 2000). Si bien el crecimiento corriente para *P. flexuosa* varía entre las diferentes localidades, alcanza un máximo entre los 25 y los 30 años. Existe una marcada diferencia en la velocidad de crecimiento con la edad. El crecimiento es muy lento

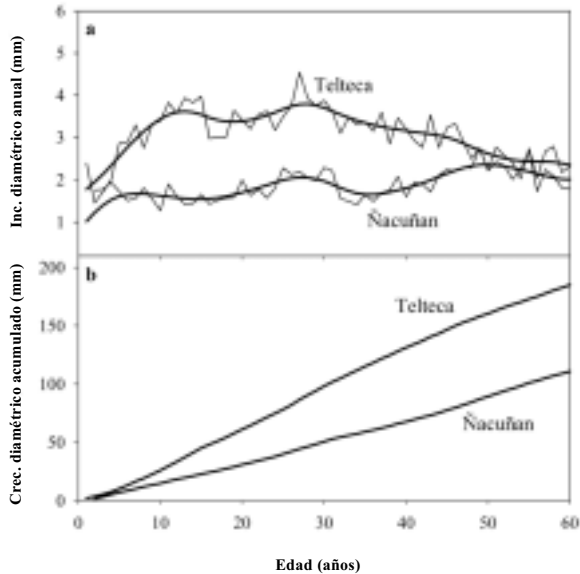


Figura 5. Diferencias en crecimiento radial corriente (a) y acumulado (b) para *Prosopis flexuosa* en las Reservas de Telteca, Departamento de Lavalle, y Ñacuñan, Departamento de Santa Rosa, ubicadas en el noreste y centro-este de la provincia de Mendoza, respectivamente. Las mayores tasas de crecimiento radial registradas en Telteca estarían reflejando la mayor disponibilidad de agua, a través de napas freáticas, en esta localidad

Figure 5. Differences in current (a) and accumulated (b) radial growth of *Prosopis flexuosa* from the Telteca and Ñacuñan Biological Reserves, located in Lavalle (northeast) and Santa Rosa (central-east) areas of Mendoza Province, respectively. The higher rate of radial growth in Telteca may be associated with a larger underground water supply in this locality

durante los primeros años de vida de los árboles. En Ñacuñan, el crecimiento corriente de renovales de *P. flexuosa* menores de 15 años de edad es inferior a 1 mm por año. Estas bajas velocidades de crecimiento radial de los renovales podrían deberse a la menor capacidad de obtención de agua del suelo por parte de sistemas radiculares menos desarrollados.

Recientemente, Catalán (2000) usó una combinación de técnicas geoestadísticas y dendrocronológicas para evaluar los efectos competitivos al nivel de estratos arbóreos y arbustivos sobre el crecimiento leñoso de *P. flexuosa* en Chancaní, Córdoba. Este trabajo, además de aportar nuevas metodologías para el estudio de fenómenos denso-dependientes en bosques, provee información muy valiosa para el manejo racional y productivo de esta especie. A partir de niveles medianos a altos de competencia arbórea (evaluados a través de los diámetros y distancias de los árboles vecinos), el crecimiento leñoso se ve severamente reducido, lo que se traduce en una pérdida potencial en



promedio de 60% de la biomasa leñosa en 20 años. Un árbol que se encuentre rodeado por más de 20 ejemplares en un radio de influencia de 13 m, y donde al menos uno de estos duplique su diámetro, se verá seriamente afectado en su crecimiento leñoso por la competencia intraespecífica. En base a estas observaciones, Catalán (2000) concluye que la densidad apropiada para plantaciones de *P. flexuosa* en el Chaco Árido o deberían superar los 380 ejemplares por hectárea en el momento en que los árboles alcanzan los 20 años.

## DENDROCLIMATOLOGÍA CON ESPECIES DEL GÉNERO *PROSOPIS*

El uso de especies del género *Prosopis* en estudios dendroclimatológicos es aún más reducido. La primera cronología de esta especie fue desarrollada con individuos de *Prosopis flexuosa* en la localidad de Chancaní, Córdoba (Villalba y Boninsegna, 1989). De un total de 130 series de ancho de anillos medidas, solo 71 fueron exitosamente cofechadas. El bajo porcentaje de muestras cofechadas, que representa una medida de la señal común entre las series, refleja la gran variabilidad en el crecimiento entre árboles y la influencia antrópica (particularmente cortes selectivos) en el área de muestreo. Una comparación de las variaciones anuales de los anillos con datos climáticos de Villa Dolores, ubicada a 50 km de Chancaní, muestra que el crecimiento de *P. flexuosa* en Chancaní está regulado, en cierta medida, por las condiciones climáticas imperantes en primavera. El crecimiento radial está favorecido por primaveras lluviosas con temperaturas por debajo del valor medio. El porcentaje de varianza en el crecimiento explicado por las variaciones en el clima es bajo, alcanzando sólo al 29 %. Debido al carácter freatófito de *P. flexuosa*, lo que le permite hacer uso del agua subterránea, el crecimiento radial podría estar más influenciado por las fluctuaciones en profundidad de la napa freática que por las variaciones interanuales en la precipitación.

Muestras de *Prosopis flexuosa* recientemente colectadas en Pipanaco sobrepasan los 200 años de edad. En consecuencia, este material puede proveer una historia ambiental en las proximidades del Salar durante los últimos 2 siglos.

Estudios preliminares en la localidad de Las Salinas, en La Pampa, indicarían que el crecimiento de *P. caldenia* estaría también controlado por las variaciones interanuales en las precipitaciones. El conteo de los anillos de crecimiento en secciones transversales de *P. caldenia* provenientes de La Pampa indicaría que es posible encontrar ejemplares vivos con más de 300 años de edad. El potencial dendroclimatológico de esta especie es, por consiguiente, muy alto. *P. caldenia* aparece como la única especie que podría ser empleada para reconstruir las variaciones de la precipitación en la región pampeana argentina durante los últimos 3-4 siglos.

Colecciones muy recientes de muestras leñosas de *P. ferox* en la Puna han permitido desarrollar una primer cronología de esta especie (Morales *et al.*, 2001). La compara-

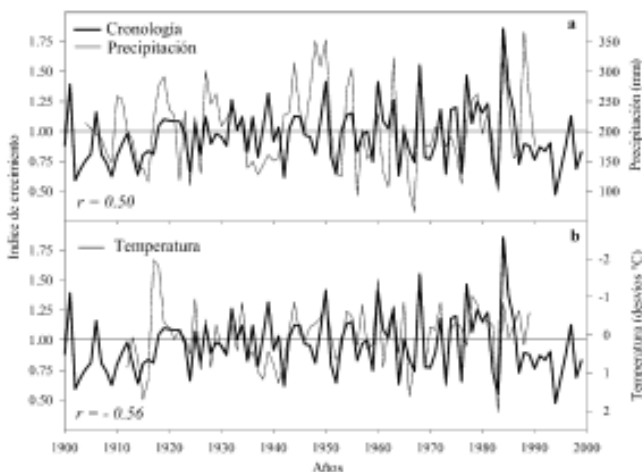


Figura 6. Variaciones en el espesor de los anillos de crecimiento de *Prosopis ferox* en Humahuaca y fluctuaciones estacionales (enero a marzo) de la precipitación (a) y la temperatura (b) en La Quiaca. Las variaciones en la temperatura han sido graficadas inversamente para facilitar la comparación con los anillos de crecimiento. El crecimiento radial de *P. ferox* en la localidad de Humahuaca es favorecido por la ocurrencia de veranos húmedos y relativamente frescos. Modificado de Morales *et al.* (2001)

Figure 6. Comparison between tree-ring variations of *Prosopis ferox* in Humahuaca and seasonal (January to March) fluctuations in precipitation (a) and temperature (b) from La Quiaca, Jujuy. To facilitate the comparison with tree growth, the axis of temperature has been reversed. The radial growth of *P. ferox* in Humahuaca is favored by wet and relative cool summers. Modified from Morales *et al.* (2001)

ción del crecimiento anual con los registros climáticos regionales revela que el crecimiento de *P. ferox* está fuertemente asociado a la disponibilidad de agua en los meses de enero, febrero y marzo. El crecimiento se ve favorecido por la ocurrencia de veranos lluviosos con temperaturas por debajo del valor medio (Figura 6). Algunas muestras colectadas sobrepasan los 500 años de edad, lo cual evidencia la potencialidad de esta especie para reconstruir las variaciones climáticas pasadas en los valles áridos interandinos del noroeste argentino.

## CONCLUSIONES

La recopilación de la información existente sobre las características anatómicas del leño indicaría la existencia de bandas de crecimiento en la madera de la mayoría de las especies del género *Prosopis*. La presencia de parénquima terminal y de vasos de mayores dimensiones al comienzo del leño temprano son las características más

comúnmente asociadas a la delimitación de las bandas de crecimiento. El estudio de la actividad cambial en *Prosopis flexuosa* indica que estas bandas son de carácter anual.

No obstante, es muy importante destacar que existe una gran variabilidad con relación a la visibilidad de los anillos de crecimiento entre especies (Tabla 1), entre individuos de una misma especie y, finalmente, dentro de un mismo ejemplar dependiendo de la ubicación de los anillos a lo largo del radio (Figura 2). Generalmente los anillos formados durante los primeros años de crecimiento son más fáciles de identificar.

Importantes avances se han realizado durante los últimos años con especies del género *Prosopis* en los campos de la Dendroecología y la Dendroclimatología. Los estudios mencionados previamente ponen de manifiesto la importancia del fechado y la medición de los anillos de crecimiento para alcanzar los resultados obtenidos. A pesar de estos avances, los estudios dendrocronológicos con especies del género *Prosopis* están en una etapa inicial. Numerosos estudios serán necesarios para poder aprovechar en su totalidad el gran potencial dendrocronológico que nos ofrecen las especies del género *Prosopis*. Dada su particular distribución, la madera de las especies de *Prosopis* aparece como la fuente más indicada para proveer información sobre la historia del clima, de los bosques y las poblaciones que habitan las regiones áridas y semiáridas de América.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOLZÓN DE MUÑIZ, G. I., 1986. *Descrição da estrutura e ultraestrutura da madeira da cinco especies de Prosopis da Argentina e análise da metodologia*. Master tesis, Univ. Federal do Parana, Brasil. 192 pags.
- CALZON ADORNO, M. E., 1995. *Estudio de la productividad económica de un bosque de algarrobo en el Dpto. Cafayate, Pcia. de Salta*. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. 69 pags.
- CASTRO, M. A., 1994. *Maderas argentinas del Prosopis: Atlas anatómico*. Presidencia de la Nación. 101 pags.
- CATALÁN, L. A., 2000. *Crecimiento leñoso de Prosopis flexuosa en una sucesión post-agrícola en el Chaco Árido: efectos y relaciones de distintos factores de proximidad*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Córdoba, 182 pags.
- DUSSART, E., P. LERNER & R. PEINETTI, 1998. Long term dynamics of 2 populations of *Prosopis caldenia* Burkart. *J. Range Manage.* 51: 685-691.
- FLINN, R. C., S. ARCHER, T. W. BOUTTON & T. HARLAN, 1994. Identification of annual rings in a arid-land woody plant, *Prosopis glandulosa*. *Ecology* 75: 850-853.
- FRITTS, H. C., 1976. *Climate from tree rings*. Academic Press, London. 567 pags.
- GIMÉNEZ DE BOLZÓN, A. M., 1994. Influencia de incendios forestales en el crecimiento de *Prosopis nigra*. *Anuario 1994 del INSIMA*, Fac. de Ciencias Forestales, UNSE, pp. 1-10.
- JACOBY, G. C., 1989. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *LAWA* 10: 99-108.

- KITZBERGER, T., T. T. VEBLEN & R. VILLALBA, 2000. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. En: *Dendrocronología en América Latina*. F. Roig (ed.). EDIUNC, 17-78.
- KREBS, C. & G. FISCHER, 1931. El pluviómetro secular. *Circ. Sec. Prop. y Ministerio de Agricultura* 847: 1-24, Buenos Aires.
- MORALES, M. S., R. VILLALBA, H. R. GRAU, P. E. VILLAGRA, J. A. BONINSEGNA, A. RIPALTA & L. PAOLINI, 2001. Potencialidad de *Prosopis ferox* Griseb (Leguminosae, subfamilia: Mimosoideae) para estudios dendrocronológicos en los desiertos subtropicales de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 865-872.
- PERPIÑAL, E., M. BALZARINI, L. A. CATALÁN, L. PIETRARELLI & U. KARLIN, 1995. Edad de Culminación del crecimiento en *Prosopis flexuosa* D. C. en el Chaco Árido Argentino. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 4, 45-55.
- ROIG J., F. A., 2000. Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. En: Roig J., F.A. (ed.), *Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura*. EDIUNC, Mendoza, pp. 307-349.
- SCHWEINGRUBER, F., 1988. *Tree Rings. Basics and applications of dendrochronology*. Dordrecht, Kluwer, 276 pags.
- TORTORELLI, L., 1956. *Maderas y bosques argentinos*. ACME. Buenos Aires. 910 pags.
- VILLAGRA, P. & F. A. ROIG J., 1997. Wood structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* growing under different edaphic conditions. *IAWA Journal* 18: 37-51.
- VILLAGRA, P., R. VILLALBA & J. A. BONINSEGNA, 2000. Structure and dynamcis of *Prosopis flexuosa* woodlands in the Monte desert using dendrochronology. *International Conference on Dendrochronology for the Third Millenium, Mendoza, Argentina. Abstracts*, pag. 210.
- VILLALBA, R., 1985. Xylem structure and cambial activity in *Prosopis flexuosa* DC. *IAWA* 6: 119-130.
- VILLALBA, R. & J. A. BONINSEGNA, 1989. Dendrochronological studies in *Prosopis flexuosa* D.C. *IAWA* 10: 155-160

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000



## **PROSOPIS FEROX GRIS. ESTADO ACTUAL DE SU CONOCIMIENTO**

*PROSOPIS FEROX GRIS. CURRENT STATUS OF KNOWLEDGE*

**ROLANDO H. BRAUN WILKE, LUIS P. E. PICCHETTI  
Y GUSTAVO F. GUZMÁN**

E-mail: [ecofcajujuy@yahoo.com.ar](mailto:ecofcajujuy@yahoo.com.ar)

### **RESUMEN**

*Prosopis ferox* es una especie leñosa presente en valles secos andinos de altitud media, del SO boliviano y NO argentino. Su principal valor radica ciertamente en el papel que desempeñan sus rodales en la protección de cuencas hídricas. Sin embargo, la extracción abusiva para leña y uso ganadero ha llevado a este recurso a una situación de vulnerable.

En el presente trabajo se pasa revista a aportes al conocimiento sobre esta especie, realizados en los últimos 25 años. Especialmente en lo que se refiere a parámetros ambientales de su área de distribución, genecología, fenología, productividad ecológica, ecofisiología, valor económico y posibilidades de empleo para reforestación.

Palabras clave: Distribución, frutos, variación, poder calórico.

### **SUMMARY**

*Prosopis ferox* is a woody species from dry Andean valleys, at medium altitude, of SW Bolivia and NW Argentina. Main value lays certainly on the role of its thickets in watershed protection. However, abusive exploitation for lumber and livestock use has turned *Prosopis ferox* a vulnerable resource.

*Contributions of the last 25 years to the knowledge of this species are reviewed. Attention has been stressed on environmental parameters in its distribution area, genecology, phenology, ecological productivity, ecophysiology, economical value, and possibilities of employing it in afforestation.*

Key words: Distribution, fruit, variation, caloric power.

## INTRODUCCIÓN

*Prosopis ferox* Gris. pertenece a un género pantropical de las Fabáceas, subfamilia Mimosoideas, sección Cavenicarpa. Se trata de una especie leñosa presente en las quebradas y valles secos del macizo andino central sudamericano y es quizás la especie de *Prosopis* que se encuentra a mayor altitud. En la mayor parte de su distribución se la conoce como “churqui” (en Salta, Argentina, “churqui jujeño”; en Tarija, Bolivia, “churqui blanco”); en Salta, además, la llaman “quiscataco” (que también designa a *P. kuntzei* Harms.). Esos nombres vulgares aluden al carácter hórrido de la especie: en quéchua, **chur** = “producir molestia”; **ki** = “cortar”, “herir”; **khishka** = “espina”; **takko, taku** = “algarrobo”, “árbol”. En Salta también se la conoce como “algarrobito” o “algarrobillo”. En Tarija (Bolivia), Salta y también Jujuy, se da el nombre de “churqui” a *Acacia caven* (Mol.) Mol.

Como recurso vegetal, *P. ferox* es una valiosa especie forrajera, melífera, que provee combustible, material para artesanías, refugio, es protectora de suelos, además de su contribución al paisaje. Tal como ha ocurrido en otras zonas secas de los Andes, los ecosistemas que integra *P. ferox* han sido afectados por la acción antrópica (uso ganadero, tala). En las inmediaciones de Potosí (Bolivia), la extracción ha llevado a poco menos que desaparecer los bosquecitos de “churqui”. Lo mismo viene sucediendo alrededor de Humahuaca, Jujuy (Argentina). Las cuencas hidrográficas donde se encuentran sus rodales ya eran –en tiempos prehispánicos– importantes vías de tránsito y sede de asentamientos de los aborígenes.

De esta especie, ha afirmado Burkart (1976) que: “A pesar de su uso, no se tiene mucha información acerca de sus híbridos y ecotipos, ni de su potencial para ocupar ciertos nichos ecológicos, (...) ni del valor económico. Tampoco ha sido intentado su empleo como ornamental”. Y agregaba: “Entre las especies argentinas que deben ser probadas en el terreno, está *P. ferox*”. Casi un cuarto de siglo después, resulta oportuno reunir los aportes realizados para el mejor conocimiento de la especie. Con ese propósito, se ha llevado a cabo una compulsa de toda la información disponible, publicada e inédita.

## DESARROLLO TEMÁTICO

### *Descripción Botánica*

(en parte según Burkart, 1952)

Se trata de un microfanerófito/nanofanerófito –arbolito o arbusto erecto– según las condiciones del ambiente (asimismo arbustivo en su etapa juvenil), de 2 a 7 metros de altura, con tronco corto, de hasta un metro de diámetro (Tabla 1), caducifolio. Tiene un sistema radical extenso, en sentido vertical y horizontal. Frutos (“choloncas”) cilíndri-

cos, gruesos, amarillos, rectos a curvos (propio de la sección Cavenicarpa), subleñosos, de 10-20 mm de diámetro por 25-75 mm de largo; semillas (15 a 30 y más por fruto), de 4 a 6 mm de longitud, con caras algo hundidas, planas o levemente convexas, color pardo/castaño, albumen grueso. Espigas florales de 2 a 6 cm con flores doradas. Presenta hojas compuestas, bipinadas, con folíolos: 10 a 20 pares; ramas con espinas abundantes de hasta 4,5 cm de longitud (Figura 1).

Tabla 1. Edad y dimensiones medias (varios sitios cerca de Humahuaca, Jujuy)

Table 1. Age and mean dimensions (many sites near Humahuaca, Jujuy)

| Edad estimada (años) | Dimensiones |                      |                                 |
|----------------------|-------------|----------------------|---------------------------------|
|                      | Altura (m)  | Diámetro de copa (m) | Diámetro a 50 cm del suelo (cm) |
| 10                   | 2,5-3,0     | 4,0-5,0              | 16                              |
| 20                   | 3,5-4,5     | 7,0-8,0              | 20-24                           |
| 30                   | 5,0-6,0     | 10,0                 | 30-37                           |
| 40                   | 5,5-6,0     | 6,5-12,0             | 40                              |
| 50                   | 7,0         | 9,0-12,0             | 40                              |

Fuente: R.H. Braun W. y col. (inédito).

### **Distribución geográfica - Parámetros climáticos y edáficos**

*P. ferox* se encuentra en faldas y fondos de quebradas/valles subandinos secos (o prepuneños) –considerados como “Semidesierto Prepuneño” (Cabrera, 1976) o “Monte de Altura” (Morello, 1958)– dentro del dominio chaqueño donde comparte su territorio con algunos elementos florísticos chaqueños; aunque no pertenece al ámbito fitogeográfico de los bosques chaqueños, como tampoco a las Yungas. La presencia de *P. ferox* en la Puna de Jujuy se presume relativamente reciente, llevada por el ganado doméstico desde las quebradas prepuneñas (Kiesling, 1989). El intervalo altitudinal máximo, en el territorio donde está presente, va de los 1900 a 3500 m s.m. (3300 a 3700 en la Puna argentina).

Esta área (aproximadamente 90.000 km<sup>2</sup>) queda comprendida por las coordenadas 20° a 26° 5'S y 65° a 66°30' W (Figura 2, según Braun W. *et al.*, 1987; Killeen *et al.*, 1993; y Palacios *et al.*, 1988). Los bosquecillos de *P. ferox* se encuentran integrando formaciones esteparias xerofíticas y mesotérmicas –con plantas adaptadas a la sequedad y el frío, frecuentemente espinosas– en valles/quebradas secos del Sur de Bolivia (zona este de Potosí, oeste de Chuquisaca y de Tarija), así como del Noroeste argentino (centro de Jujuy: valles secos prepuneños de “Humahuaca”; oeste de Salta: “valles calchaquíes” y zonas de Iruya, en la vertiente oriental de la Sierra de Santa Victoria); también en áreas bajas del sector oriental de la Puna jujeña. Según Fernández (1970), ello se relacionaría con particularidades topográficas y microclimáticas.



Figura 1. Características morfológicas (cortes: D. Ruiz, 1996; resto: Legname, 1982)

Figure 1. Morphological characteristics (cuts: Ruiz, 1996; remains: Legname, 1982)

En su área, *P. ferox* se encuentra sobre suelos pobres (generalmente pedregosos, arenosos), principalmente en laderas bajas de cerros, piedemontes y terrazas, conos de deyección de las quebradas entre montañas. Donde las precipitaciones anuales disminuyen hasta aproximadamente 200 mm y menos, la presencia de rodales de este “churqui” dependen de la existencia de capas de agua freática cerca de la superficie. Roig (1993) cita a *P. ferox* entre aquellas especies del género *Prosopis* seguramente freatófitas, o que usufructúan un horizonte edáfico húmedo, y que sigue los cursos de los ríos temporarios. No obstante, cabe señalar que el “churqui” no se comporta bien con mucha humedad (atmosférica o edáfica).

*P. ferox* no está presente en áreas de salares/salinas pero parece tolerar cierto grado, moderado, de salinidad y alcalinidad (al menos en profundidad). Así, se lo encuentra en la Puna de Jujuy, en el acceso a Quebraleña, al este de la laguna Guayatayoc; también en ambiente puneño, en el límite de Jujuy con Salta, al sur de las Salinas Grandes (Braun *et al.*, 1999a) y en algunos sectores del valle de Tin Tin, Salta.

Las temperaturas medias anuales en el ámbito de la especie varían entre 10° y 16° / 18°C. Las temperaturas medias de enero y julio permiten definir el clima como de estepa seca, con invierno frío. Roig (1993) catalogó a *P. ferox*, igual que a otras especies del grupo preandino, como altamente resistente al frío.

El número de horas de luz, durante el solsticio de verano, es de 13,10 en el sector septentrional y de 13,50 en el meridional.

Las precipitaciones medias anuales (de régimen monzónico), en el sector argentino (meridional), alcanzan los 200 mm y llegan a más del doble en el extremo boliviano (septentrional). Las escasas precipitaciones de este ámbito se explican no sólo por las cadenas montañosas que cierran el paso al desplazamiento de los vientos húmedos del este, sino también a los vientos que atraviesan desde el oeste los extensos y secos altiplanos.



## Agrupamientos ecológicos

Las plantas de churqui forman bosques, como manchas aisladas de poca altura, en la mayor parte de su ámbito. En las estepas de la Puna seca argentina, *P. ferox* forma sociedades climácicas (Cabrera, 1968) o bien existe como individuos dispersos. En partes comparte el territorio con otras especies del mismo género (*P. alba*, *P. laevigata*, *P. nigra*) y también con *Acacia caven* (churqui, espinillo), *A. visco* (yapán) y *Schinus molle* (molle). Frecuentemente es el único árbol, especialmente en la Puna baja y, en particular en el bioma prepuneño argentino, donde se aparece asociado con *Trichocereus pasacana* (cardón) (Braun W. et al., 1987; De Viana et al., 1989)

entre otras especies. En el fondo del valle de Tin Tin, hay consociaciones de *P. ferox*, acompañadas en sus bordes por *Larrea divaricata*. y *Trichocereus pasacana*.



Figura 2: Mapa de distribución regional  
Figure 2: Regional distribution map

## Propagación natural

El churqui es de propagación zoófila y endozoica. Animales como los camélidos y el ganado doméstico (caprino, ovinos, bovinos) –tal vez otros también– que comen sus frutos, contribuyen a ello. Las semillas duras pueden pasar indemnes por el aparato digestivo de esos animales y quedan diseminadas con los excrementos. También se produce el arraigamiento por mugrones (en Peñas Blancas, Humahuaca, Jujuy; Braun obs. pers).

## Hábito de crecimiento

En gran parte de su área –desde el sur de Bolivia a Salta– *P. ferox* aparece como árbol, pequeño o mediano. El caso más destacado conocido es el de las poblaciones de Tin Tin (Valles Calchaquíes), en Salta; pero en los lugares más expuestos al frío (en Jujuy, especialmente por encima de los 3600 m s.m.), suele tener forma arbustiva (Picchetti, obs. pers.). Burkart (1952) la cita como especie arbustiva y Roig (1993) incluye a la Serie Cavenicarpa en el grupo de pequeños árboles. Por último, Cabrera (1968) y Ruthsatz (1974) describen a *P. ferox* como un microfanerófito.

## Genética - Genecología

Ancíbor (1996, com. pers.) considera como una misma especie a *P. ferox* (churqui) y *Prosopis tamarugo* (tamarugo), que se encuentran a la misma latitud, aunque en semidesiertos templados y en provincias fitogeográficas distintas. En efecto, el tamarugo está presente en pampas del desierto andino (dominio andino-patagónico), entre los 1000 a 1200 m s.m.; mientras que el churqui en el semidesierto prepuneño (dominio chaqueño), entre 1900 y 3500 m s.m. y en el puneño (dominio andino-patagónico), hasta 3700 m s.m. Burkart (1976) ha resaltado un parentesco cercano entre ambas especies, ubicándolas en la Serie Cavernicarpae de la Sección Strombocarpa del género *Prosopis*. Sin embargo, Burghardt (2000) al analizar el patrón electroforético de proteínas de semillas obtiene resultados parcialmente incongruentes.

El número somático diploide de cromosomas de *P. ferox* es de 28 (Covas y Schnack, 1947, citado por Burkart, 1952), como en otras Mimosoideas (en especial *P. argentina*, *P. campestris*, *P. strombulifera*, *P. ruscifolia*).

Según Simpson (1983, citada por Roig, 1993), la Serie Cavenicarpae, cuya área original quedó dividida en dos con el levantamiento andino, habría llegado así a su especiación actual: *P. ferox* al oriente y *P. tamarugo* al occidente del macizo orográfico.

Roig (1993) ha postulado que las especies de *Prosopis* arbustivas y pequeños árboles que han sido capaces de conquistar nichos cada vez más difíciles, son más especializadas y, por lo tanto, pueden ser consideradas como más evolucionadas. Esto se aprecia igualmente en el hecho de poseer espinas abundantes. Burkart (1973, citado por Roig, 1993) sostiene que los *Prosopis* primitivos eran árboles inermes.

La existencia de ecotipos, ya sugerida por Burkart (1976), ha podido ser confirmada para algunas poblaciones de churqui de Jujuy y es actualmente examinada para otra serie de localidades por Burghardt (FCEN/UBA). La diversidad de ambientes dentro del área geográfica de distribución de la especie, que resulta de altitudes, exposiciones, suelos, etc. diferentes, permitía suponerlo. Es posible que la intensa radiación solar, así como la amplitud térmica diaria resultante sean las causas principales de adaptaciones de la especie en la región (Figura 3).

## Fenología

La foliación precede generalmente a la floración y ocurre en primavera-verano (septiembre-enero). La floración suele ser abundante y más o menos constante. Puede tener dos producciones de fruto: verano y otoño (marzo y mayo). Pierde hojas durante el otoño o en el invierno (más bien como respuesta a la economía hídrica del suelo). Las observaciones realizadas por Ruthsatz (1974) y confirmadas, a través de más de 10 años, por los autores de este trabajo en Jujuy, pueden resumirse como sigue:

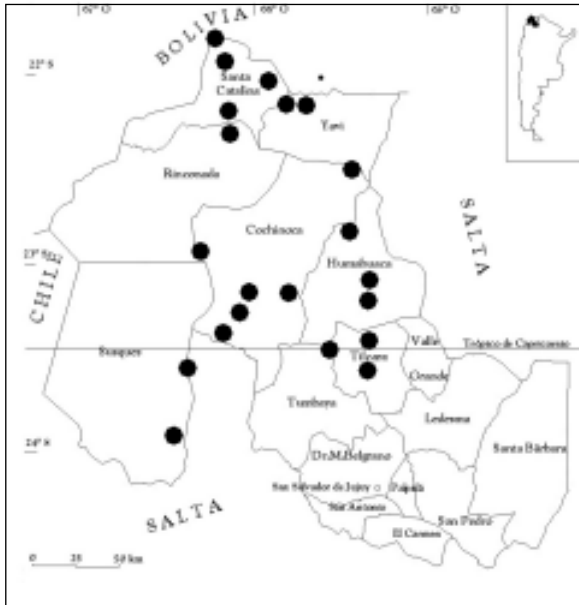


Figura 3. Mapa de sitios relevados en la provincia de Jujuy

Figure 3. Map of surveyed sites in Jujuy province

Localidades prepuneñas (2000-3300 m s.m.): las hojas aparecen entre septiembre y octubre, con flores entre mediados de octubre y noviembre. Frutos maduros, desde fines de marzo a mayo (puede comenzar en febrero).

Localidades puneñas (3400-3600 m s.m.): hojas a fines de septiembre y en octubre, flores en la segunda quincena de octubre y en noviembre. Frutos maduros en mayo (pueden comenzar en abril).

Para el Parque Nacional Los Cardones más al sur, a 3000-3200 m s.m. (Salta), Ortega Baes *et al.* (1999b) citan: floración desde noviembre a enero, frutos maduros a fines de abril.

Hay diferencias notables aun en una misma población. Existen plantas que no florecen todos los años (observaciones de Picchetti, inéditas). Heladas tardías, en la Prepuna y Puna afectan las inflorescencias; las tempranas pueden dañar los frutos. Las abejas, al menos en el sector prepuneño, están más activas en el mes de noviembre, aunque la oferta floral puede llegar a 50-60 días. La polinización entomófila incide en el incremento de la cantidad de frutos (Picchetti *et al.*, com. pers.).

Aparentemente las condiciones climáticas en la época de la floración serían las más críticas. Esto se refiere tanto a las heladas tardías, como a los vientos y las precipitaciones fuera de época (septiembre, octubre). A todo esto, se sumaría el hecho de tratarse

de plantas alógamas, lo que podría crear problemas de fecundación cruzada (Palacios *et al.*, 1988). Sin embargo, debe tenerse presente el caso de plantas aisladas, por ejemplo al este de Susques, en Toquero y otras localidades al oeste de La Quiaca, en Jujuy, que producen frutos, aunque poco fértiles.

## **Papel de los polinizadores**

Burkart (1952) ha señalado que las especies de *Prosopis* se clasifican como entomófilas protóginas. Sus flores son nectaríferas, por lo que atraen a las abejas y otros himenópteros (avispas), dípteros, etcétera.

El mismo Burkart (1937, citado por Palacios *et al.*, 1988) señaló para *P. ferox* la presencia de flores con diferente longitud de estilos. A su vez, Solbrig y Cantino (1975) se han referido a la posibilidad de que no todas las flores sean fisiológicamente fértiles para ser polinizadas, fecundadas y con aptitudes para desarrollar frutos. Por otra parte, diversos autores (citados en Palacios *et al.*, 1988) determinan la existencia de autoincompatibilidad en algunas especies de *Prosopis*, lo que no se verifica para el churqui.

## **Productividad ecológica**

El crecimiento del churqui es lento en general. Puesto que su presencia se da en matorrales o bien en plantas aisladas, bajo condiciones de economía hídrica dispares, la producción ecológica es variada. En Humahuaca (Jujuy), alrededor de los 3000 m s.m, Braun. *et al.* (1987) han establecido lo siguiente: 890 plantas por hectárea, con edades de 1 a 55 años y alturas que superan los 6 metros; la biomasa aérea alcanza los 17860 kg/ha (16300 leño, 1550 hojas); la biomasa subterránea 6750 kg /ha. La producción aérea neta (sólo leño) alcanza a 650 kg/ha/año.

Outon (1991) se ha ocupado en detalle de la intensidad de extracción y la perduración del recurso para tres sitios próximos a Humahuaca. La misma autora ha procesado información inédita de la Cátedra de Ecología, FCA/UNJu, referida a la producción de frutos de árboles semilleros, en localidades de Jujuy (Argentina). Resumiendo lo que ocurre en la Prepuna (Quebrada de Humahuaca), se aprecia que:

- a) Los individuos de tamaño pequeño (no necesariamente los de menor edad) tienen una baja producción de frutos,
- b) Las plantas de tamaño medio (contenidas en cilindros imaginarios de 10 a 25 m<sup>3</sup>) ofrecen una mayor cantidad relativa: promedio de alrededor de 32 kg,
- c) Los ejemplares adultos (30 a 50 años) disminuyen su producción de manera llamativa. La autora explica las razones probables de este comportamiento considerando:
  - 1) En los árboles pequeños, la mayor parte de la energía estaría destinada al crecimiento vegetativo, pero, debido a la excesiva presión de pastoreo, éste no ocurre en forma normal,

- 2) Los individuos que superaron la etapa crítica de crecimiento alcanzan valores que se aproximan a la normalidad (en este caso, los fotosíntatos se destinarían en forma más o menos equilibrada a la producción de hojas y frutos),
- 3) Por otra parte, el mayor tamaño logrado contribuiría a que los animales adultos tengan más dificultad para acceder a determinadas alturas, con lo que la presión de ramoneo debida a éstos sería menor,
- 4) La menor fructificación en los ejemplares adultos de *P. ferox* podría explicarse por causas naturales (senectud), así como por la influencia de *Tillandsia* sp., epífita muy difundida, especialmente en los ejemplares adultos de churqui.

La información recogida por los autores para la Puna jujeña es más errática (inciden especialmente las heladas). Para un buen rodal, en un buen año (1988), Braun *et al.* (1999b) estimaron, en Peñas Blancas (Jujuy), una producción de 1330 kg/ha de frutos y 1207 kg/ha de hojas.

Observaciones realizadas en localidades de la Prepuna y Puna de Jujuy entre 1987 y 1999 (Picchetti, *et al.*, inédito) han permitido apreciar que *P. ferox* presenta una producción errática de frutos de un año a otro (Tabla 2).

Tabla 2. Estimación de la producción de frutos por *P. ferox*  
 Table 2. Estimation of *P. ferox* fruits production

| Localidad     | Edades       | Prod. de frutos |
|---------------|--------------|-----------------|
| Jueya         | adultos      | constante       |
| Peñas Blancas | adultos      | variable        |
| Chorrillos    | adultos      | var. a muy var. |
| Mocotes       | adultos      | var. a muy var. |
| W La Quiaca   | adultos      | var. a muy var. |
| Yavi          | edad mediana | var. a muy var. |

## Ecofisiología

La cátedra de Ecología (Fac. de Cs. Agr., Univ. Nac. de Jujuy), en sus estudios sobre la distribución, ecología y fisiología de *P. ferox*, ha obtenido la siguiente información (Picchetti *et al.*, 1998, inédito):

- Hay una correlación inversa entre el poder germinativo de la semilla y la altitud sobre el nivel del mar de la localidad donde se encuentran las plantas. Esto ocurre en los ejemplares que crecen arriba de los 3700 m s.m. y en los lugares más expuestos.
- Los ejemplares que se encuentran en las condiciones anteriores, tienen un hábito de crecimiento arbustivo; escasa floración y producción de frutos, que son pequeños, de desarrollo incompleto (hasta deformes); pocas semillas por fruto, con poder germinativo bajo.
- Las semillas provenientes de plantas que crecen en su hábitat natural suelen tener alto poder germinativo y éste se mantiene por muchos años (se ha comprobado que a los 7 años no había merma).

Analizando el tamaño y forma de fruto se ha descubierto mucha variabilidad intra e interpoblacional (Fotos 1 y 2). Es posible entrever la existencia de varias formas diferentes dentro de la especie (ecotipos).

En el campo ocasionalmente se originan plántulas a partir de frutos que permanecen semicubiertos por el suelo. Desde la germinación, los plantines, que soportan el sol pleno, compiten exitosamente con arbustos y plantas herbáceas.

Las plantas pueden retoñar desde la base una vez hachadas; pero ello debe hacerse en invierno para que no se sequen las cepas (Outon, 1991).

Solbrig y Cantino (1975) han obtenido con *P. ferox* porcentajes reducidos de germinación (29,2%), lo que atribuyen a las temperaturas bajas de la experiencia (no indican el agente escarificador utilizado). Ortega Baes *et al.* (1999a) han comparado la acción de escarificadores mecánicos, químicos (ácidos sulfúrico y clorhídrico) y biológicos (el pasaje por el tracto digestivo de caprinos y asnales) (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de germinación según tratamiento  
Table 3. Germination percentage according to treatment

| Tratamiento                             | Germinación (%) | Tratamiento         | Germinación (%) |
|---|-----------------|---------------------|-----------------|
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 3 min. | 90,5            | Mecánico            | 93,0            |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 4 min. | 90,0            | En heces de caprino | 5,0             |
| HCl - 3 min                             | 3,5             | En heces de burros  | 4,0             |
| HCl - 4 min.                            | 13,25           | Sin escarificar     | 0,0             |

Es evidente que el pasaje por el tracto digestivo no representa el mecanismo principal de escarificación de las semillas.

Con sólo remojar las semillas 24 horas, Braun *et al.* (inédito) lograron porcentajes de germinación superiores al 90%, pero a lo largo de varios meses. Para lograr una germinación más pareja y anticipada de semillas de *P. ferox*, Picchetti y Braun (1998) ensayaron diversos pretratamientos. En una experiencia, utilizando la escarificación química (10 horas con ácido clorhídrico diluido al 9 y 18%) y la mecánica (raspado sobre papel de lija) los resultados no fueron mejores que los obtenidos sin escarificación (68% de germinación a los 8 días). En otras dos experiencias, empleando agua caliente a diversas temperaturas, los mejores resultados se lograron cuando el agua estuvo entre 80 y 90° C (alrededor del 86 % de germinación a los 8 días).

Las fluctuaciones térmicas extremas diarias en la superficie del suelo, en un ambiente árido, pueden romper la dura cubierta seminal y permitir la germinación en oportunidad de las lluvias. Es muy probable que se sumen los efectos citados y los del pasaje por el tracto digestivo de los mamíferos herbívoros.

Los mismos autores han podido confirmar para *P. ferox* en el Parque Nacional Los Cardones que los procesos críticos del ciclo vital, como la germinación y el estableci-



Foto 1. Variaciones de formas de frutos de *Prosopis ferox* entre poblaciones: Chorrillos, Juella y Mocote (prepuna); Yavi (puna) (Foto: L. P. Picchetti, 1994)

*Photo 1. Shape variations in fruits of Prosopis ferox between populations: Chorrillos, Juella and Mocote (Cardonal); Yavi (Puna) (Photo: L. P. Picchetti, 1994)*

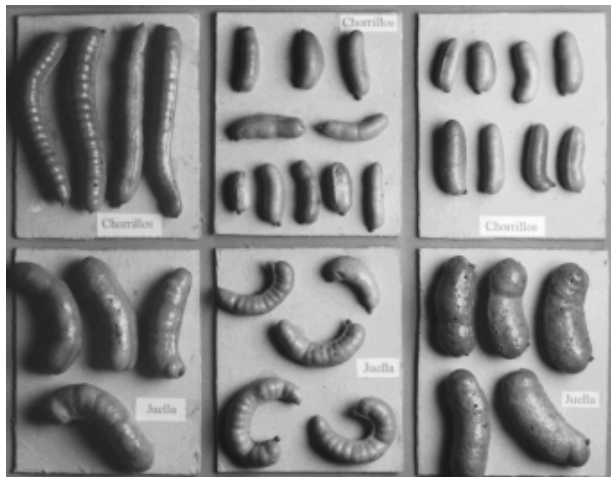


Foto 2. Variaciones de formas de frutos de *Prosopis ferox* en dos poblaciones de la Quebrada de Humahuaca: Chorrillos y Juella. (Foto: L. P. Picchetti, 1994)

*Photo 2. Shape variations in fruits of Prosopis ferox in two populations of Quebrada de Humahuaca: Chorrillos and Juella. (Photo: L. P. Picchetti, 1994)*

miento de las plántulas, son influidos de manera decisiva por la disponibilidad del agua edáfica, a diferencia de los adultos, que son freatófitos. Así pues, aunque las semillas de estas plantas puedan germinar todos los años, en aquéllos con lluvias abundantes ocurrirían pulsos significativos de germinación. Sin embargo, posteriormente tiene lugar una alta mortandad, desde el final del período lluvioso. Asimismo, Ortega Baes *et al.*, (1999b) constataron que el reclutamiento de renuevos ocurre más en los peladeros (sitios no colonizados) que bajo la copa de plantas leñosas. Esto podría ser por la ocurrencia de estrés hídrico, competencia o efectos alelopáticos.

Por otra parte, en un trabajo inédito citado por los mismos autores (Ortega Baes, inédito), se constató que los corrales de cabras constituyen sitios de almacenamiento diferencial de semillas, a los que se encuentra asociada la mayor densidad de plántulas y renuevos registrados en el Parque Nacional Los Cardones. Esto también ha podido ser apreciado en diversas localidades de Jujuy (Outon, 1991; Braun *et al.*, obs. inéditas).

En la FCA/UNJu se ha intentado sin éxito (o muy ocasional) la multiplicación por estacas o mugrones de *P. ferox*. Bajo las condiciones climáticas de Jujuy, con 1000 mm/año de lluvia, concentrada en el verano, y una humedad relativa superior a la de su área natural, no prospera esta especie (Picchetti, información inédita).

La respuesta de *P. ferox*, sembrado en diferentes sustratos, ha sido comparada por Picchetti *et al.* (1998): **1**, arena fina; **2**, (**1**) + aserrín (1:2); **3**, ripio (entre 0,5 y 1 cm de diámetro); **4**, tierra rica en materia orgánica; **5**, (**4**) + arena (1:1); y **6**, (**4**) + (**3**) (1:1). A los 45 días el mejor resultado correspondió al tratamiento **4**; el peor, fue **1**; no hubo diferencias entre los restantes.

## **Valor económico y otros**

Ya se comentó acerca de su condición de especie melífera. Sánchez (1999) ha encontrado en la Quebrada de Humahuaca que las Fabáceas están entre las familias más intensamente visitadas por las abejas. El fruto tiene especial valor para el ganado. El follaje es aprovechado, especialmente cuando es muy tierno, y en el otoño, cuando hay muy baja oferta de otros recursos. Las cabras apetece sus frutos, hojas (algo menos) y ramitas; también los ovinos y aun los bovinos, asnales y camélidos. El aporte energético de estas fracciones vegetales se visualiza en los datos de poder calorífico (Tabla 4). Los pobladores cosechan frutos del arbolito o golpeándolo, para reserva.

El leño de *P. ferox* constituye un combustible muy apreciado. El uso de carbón de leña del churqui es ancestral. Outon (1991) da los valores de poder calorífico (Tabla 4). Los autores de este trabajo consideran que tales combustibles sólo deberían destinarse a la población dispersa, donde no exista el acceso al gas natural.

No se tiene conocimiento de su uso como cortina forestal. Pero, precisamente por su carácter hórrido y crecimiento con mínimos cuidados, indicarían su adecuación para tal fin.



Tabla 4. Poder calorífico medio de fracciones de *P. ferox*

Table 4. Mean caloric power of *P. ferox* fractions

| Fracción       | Poder calorífico (cal/g) | Fracción            | Poder calorífico (cal/g) |
|----------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Hojas grandes  | 4.444                    | Cubiertas de frutos | 4.226                    |
| Hojas medianas | 4.440                    | Semillas            | 4.670                    |
| Hojas chicas   | 3.882                    | Leño                | 3.573 *                  |

(\*) Para carbón de leño 5.933 cal/g

Fuentes: Cátedra de Química Analítica (FCA/UNJu);

Inst. Invest. P/la Ind. Qca. (INIQUI, Salta) [en Outon, 1991]

## Adversidades biológicas

El estadio más vulnerable es el de plántula, palatable para el ganado mayor y menor. Entre las plagas de importancia en *Prosopis* están los insectos. Se citan diferentes especies de Hemípteros, Lepidópteros y Coleópteros. Dentro de este último orden, se encuentran distintas especies de curculiónidos, cerambícidos y brúquidos (Mazzuferi, 1988). La familia Bruchidae es, sin lugar a dudas, la de mayor importancia con diferentes géneros como *Rhipibruchus* y *Scatobruchus* (las especies de estos géneros se limitan a comer exclusivamente semillas de *Prosopis*) (Mazzuferi, 1988).

Muruaga y Kingsolver (1984) se han ocupado de diversas especies de *Rhipibruchus*, y han descrito una nueva: *R. jujuensis*. Más recientemente, Muruaga y Gallardo (1996) han estudiado la presencia de Bruchidae en frutos en pie de *P. ferox*, en diferentes estados de desarrollo, y caídos; pudieron determinar la existencia de diversas especies, como asimismo aportar datos de valor sobre sus bioecologías y daños producidos.

No parece que los insectos xilófagos sean tan relevantes en *P. ferox* como lo son en otras especies del género.

Los autores han observado la infestación con hemiparásitas en churcales de la Quebrada de Humahuaca. Neumann (com. pers.) expresa lo mismo para los valles calchaquíes con la familia *Loranthaceae*.

## Posibilidades de empleo para reforestación

Fernández (1970) cita a *P. ferox* como una especie agresiva (pionera, invasora, colonizadora). Las razones para ello, comunes a todos los algarrobos, son las características de la especie: a) heliófita, b) productora de abundantes semillas, c) con frutos palatables para el ganado, d) con semillas capaces de pasar por el tracto digestivo de animales donde se ablandan los tegumentos sin afectar el embrión, e) de rápida germinación y crecimiento aéreo de las plantas jóvenes, f) con notable crecimiento de la raíz seminal, que penetra profundamente en el suelo (generalmente suelto,

arenoso-pedregoso), con una relación aproximada, en volumen, de 3 para la copa a 1 para la raíz.

De lo anterior, se deducen opuestas circunstancias: una favorable para la forestación, como la plasticidad de la especie, y otra desfavorable, por la posibilidad de transformarse en invasora.

Se la ha revalorizado como especie útil con el propósito de forestación para cercos, cortinas, producción de forraje y combustible en su propia área de distribución actual. Probablemente, sea allí el único árbol que puede dar resultado bajo condiciones de aporte hídrico escaso.

Muy pocos pobladores del área prepuneña o puneña de Jujuy se han preocupado por plantar churquis. Entre los casos conocidos se pueden citar: a) cuatro ejemplares obtenidos enterrando frutos enteros (en 1984) en un puesto 5 km al oeste de La Quiaca (ca. 3450 m s.m.), que en 1988 habían alcanzado alrededor de 50 cm; b) un arbolito plantado ca. 1970 (de plántula trasladada al efecto) en la margen derecha del río de las Burras, a unos 8 km al este de Susques (3650 m s. m.); se lo ha visto con flor y fruto y a los 25 años tenía 3 m de altura y unos 4 m de diámetro de copa. Lo cierto es que no se tuvo en cuenta seriamente a *P. ferox* para reforestaciones. Tal vez cuenten para ello las dificultades para obtener y mantener plantas en un medio caracterizado por los intensos vientos y los extremos térmicos, el ataque constante de herbívoros (ganado, burros cimarrones, fauna en general) y la propia mentalidad de algunos pobladores.

La Cátedra de Ecología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias/UNJu ha ensayado con éxito relativo pequeñas forestaciones en Suripugio (Dpto. Yavi), Huancar (Dpto. Susques) y, especialmente, en Barrancas (Dpto. Cochinoca). Los mejores resultados han sido obtenidos en recintos cerrados de esta última localidad, donde se les ha prodigado atención más especial. Algunos intentos ocasionales de la GTZ fueron atendidos desde Salta sin continuidad. Aunque el ritmo de crecimiento es relativamente lento bajo las condiciones más extremas de su hábitat natural, el churqui responde bien a los cuidados (riego) y a la protección contra eventuales ataques de herbívoros.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRAUN WILKE, R. H.; L. P. E. PICCHETTI & H. ROBLES, 1987. Producción ecológica de la comunidad de *Prosopis ferox-Trichocereus pasacana* en la Prepuna jujeña. *Resúmenes 13ª Reunión Argentina de Ecología*; Bahía Blanca.
- BRAUN WILKE, R. H., L. P. E. PICCHETTI, G. F. GUZMÁN & A. I. MASSIÉ, 1999a. Estudios Genecológicos de *Prosopis ferox* GRIS. *Agraria* 4: 33-41.
- BRAUN WILKE, R. H., L. P. E. PICCHETTI & G. F. GUZMÁN, 1999b. *Base de Datos (ACCCESS) de las Tierras Altas de Jujuy* (Inédito); Dpto. Suelos y Ecología, FCA/UNJu.

- BURGHARDT, A. D., 2000. Estudio Electroforético de Proteínas de Semillas en *Prosopis* (Leguminosae) II: Sección Strombocarpa. *Bol. Soc. Arg. Bot.* 35 (1-2): 149-156.
- BURKART, A., 1952. *Las Leguminosas Argentinas* (2a. ed., 569 pp.); ACME Agency SRL; Buenos Aires.
- BURKART, A., 1976. A Monograph of Genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Jour. Arnold Arboretum* 57 (3): 217-249 y 450-525.
- CABRERA, A. L., 1968. Ecología Vegetal de la Puna. *Colloquium Geogr.* 9: 91-116; Bonn (Alemania).
- CABRERA, A. L., 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. (tomo II, fasc.1, 85 pp), *Enciclop. Arg. Agr. y Jard.*; Ed.ACME SACI; Buenos Aires.
- DE VIANA, M., N. ACRECHE, P. ORTEGA & M. SALUSSO, 1989. Los Cardones: Estructura de las Comunidades Vegetales. *14 Reun. Arg. Ecol.* ASAE/UNJu; S.S. de Jujuy.
- FERNÁNDEZ, J., 1970. *Polylepis tomentella* y *Orogenia Reciente*. *Boletín Soc. Arg. Bot.* Vol. XIII (14-30), Buenos Aires.
- KIESLING, R., 1989. Vegetación del NOA. *Conf. 14º Reu.Arg.Ecol.*; ASAE/UNJu, S.S.de Jujuy.
- KILLEEN, T. J.; E. GARCÍA E. & S. G. BECK, 1993. *Guía de Árboles de Bolivia*; Herb. Nac. Bolivia/Missouri Bot. Garden; La Paz (Bolivia).
- LEGNAME, P.R., 1982. Árboles Indígenas del Noroeste Argentino. *Opera Lilloana* 34: 1-226; Fund.M. Lillo; S.M. de Tucumán (Argentina).
- MAZZUFERI, V., 1988. Breve Panorama de Plagas Insectiles en *Prosopis*. *Prosopis en Argentina Docum. prelim. 1er. Taller Intl. s/Rec. Gen y Conserv.de Germopl.en Prosopis*; Cosquín, Córdoba, (Argentina).
- MORELLO, J. H., 1958. La Provincia Fitogeográfica del Monte. *Opera Lilloana* II: (1-155 + ilustraciones); Inst.M.Lillo,UNT; Tucumán.
- MURUAGA DE L'ARGENTIER S. & J. M. KINGSOLVER, 1984. *Rhipibruchus jujuyensis*, Nueva Especie de Bruchidae (Coleoptera) para la República Argentina. *Acta Zool. Lilloana* 38 (1): 35-39; S. M. de Tucumán (Argentina).
- MURUAGA DE L'ARGENTIER, S. & C. B. GALLARDO, 1996. Especies de Bruchidae (Coleoptera) Espermófagas de Leguminosas Silvestres y Cultivadas, Arbóreas y Arbustivas, de la Provincia de Jujuy (Argentina). *Resúmenes IIIºs Jorn. Inf. Cient. Técnicas (FCA/UNJu) y Iºs Jornadas Regionales*; S.S. de Jujuy.
- ORTEGA BAES, P., M. L. DE VIANA, S. SUHRING & M. SARAVIA, 1999a. Germinación de Semillas de *Prosopis ferox*: Efecto de los Escarificadores Mecánicos, Químicos y Biológicos. *Actas IIºs Jorn. Regs. Inf. Científico-Técnicas*; U. A. Tomás Frías; Potosí (Bolivia).
- ORTEGA BAES, P., M. L. DE VIANA & S. SUHRING, 1999b. Patrones de Reclutamiento de *Prosopis ferox* en el Parque Nacional Los Cardones (Salta, Argentina). *Actas IIºs Jorn. Regs. Inf. Científico-Técnicas*; U.A.Tomás Frías; Potosí (Bolivia).
- OUTON, V. I. D., 1991. *Prosopis ferox* GRISEB.- Usos, Importancia e Impacto Ambiental. (57pp + tablas y mapas); Tesis Lic.en Recs.Nats. (inédita); UNSa.
- PALACIOS, R.; M. A. AGULLÓ, M. P. MOM, S. TORREGOSA & P. PICCA, 1988. Especies del Género - Taxonomía. *Prosopis en Argentina. Docum. prelim. 1er. Taller Intl. s/Rec. Gen. y Conserv. de Germopl. en Prosopis*; Cosquín, Córdoba, (Argentina).

- PICCHETTI, L. P. E. & R. H. BRAUN W., 1998. Efecto de Diferentes Formas de Escarificación en Semillas de *Prosopis ferox* GRIS. *Libro de Resúmenes, Primer Simposio Argentino-Canadiense y 1er Congreso Argentino de Protección Forestal*. Buenos Aires.
- PICCHETTI, L. P. E., B. S. VILLAFañE & D. RUIZ, 1998. Respuesta de Plántulas de *Prosopis ferox* a Diferentes Sustratos. *Libro de Resúmenes, Primer Simposio Argentino-Canadiense y 1er Congreso Argentino de Protección Forestal*. Buenos Aires.
- ROIG, F. A., 1993. Informe Nacional para la Selección de Germoplasma en Especies de *Prosopis* de la República Argentina. En; *Contrib. Mendocinas a la 5ª Reu.Reg. p/ América Latina y el Caribe de la Red de Forestación del CIID; CIID/IADIZA* (eds.); Mendoza.
- RUTHSATZ, B., 1974. Los Arbustos de las Estepas Andinas del Noroeste Argentino y su Uso Actual. *Bol. Soc. Arg. Bot.* 16 (1/2): 27-45; Buenos Aires.
- SANCHEZ, A. C., 1999. Especies visitadas por *Apis mellifera* L. en la Quebrada de Humahuaca (Jujuy, Argentina). *II<sup>as</sup> Jorn. Regs. Inf. Cient.-Técnicas*; U.A.Tomás Frías/Proy. AUTAPO; Potosí (Bolivia).
- SOLBRIG, O. T. & P. D. CANTINO, 1975. Reproductive Adaptations in *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). *Jour. Arnold Arboretum* 56: 185-210.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000



# ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LOS ALGARROBALES ARGENTINOS

*ECOLOGY OF THE PROSOPIS WOODLANDS FROM ARGENTINA*

PABLO E. VILLAGRA

Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental.  
IANIGLA-CRICYT. CC.330. 5500 Mendoza. Argentina.  
E-mail: villagra@lab.cricyt.edu.ar

## RESUMEN

La capacidad de las especies del género *Prosopis* de tolerar sequía y condiciones edáficas adversas, como la salinidad y alcalinidad, así como su adaptación a la herbivoría, son las principales razones de su posición dominante en la vegetación leñosa de zonas áridas y semiáridas de América. Los estudios sobre la ecología de las especies de este género se pueden agrupar en: a) los que analizan el control que ejercen los factores ambientales bióticos y abióticos sobre la estructura y dinámica de las poblaciones de algarrobos, y b) los que estudian el efecto de los algarrobos sobre las condiciones ambientales y, consecuentemente, sobre el resto de la comunidad.

En Argentina, la estructura diamétrica, la regeneración y el crecimiento de distintas poblaciones de algarrobos han sido estudiadas en la región Chaqueña, del Espinal y del Monte. El clima (humedad y temperatura), el suelo, la profundidad de la freática, los disturbios y las interacciones biológicas (predación y dispersión de semillas, herbivoría, y competencia) han sido señalados por diversos autores como los factores que determinan la estructura y dinámica de los algarrobales. La importancia de cada uno varía según las regiones. En general, en las regiones más xéricas las variaciones climáticas (condicionantes de la disponibilidad de agua) son las que determinan las posibilidades de establecimiento y el crecimiento de las distintas poblaciones de algarrobos. En cambio, en las zonas más húmedas la competencia y el disturbio aparecen como los factores principales. En todos los casos la dispersión de semillas por herbívoros aparece como indispensable para el establecimiento, ya que rompe la dormición y disminuye la predación de semillas por granívoros (principalmente brúquidos, roedores y hormigas). El ganado doméstico ejerce un doble efecto de dispersión y predación cuyo resultado depende de la carga ganadera.

Las especies del género *Prosopis* son componentes importantes en el hábitat de otros organismos. Estas especies generan heterogeneidad espacial que modifica la distribución espacial de especies de los estratos arbustivos y herbáceos. Entre los mecanismos que generan esta heterogeneidad encontramos la modificación de las condiciones climáticas bajo su cobertura a través de la moderación de temperaturas extremas, disminución de evaporación, redistribución de las precipitaciones y de la intensidad lumínica; el incremento de la fertilidad a través de la acumulación de nutrientes; los efectos físicos y químicos del mantillo; la provisión de perchas para el asentamiento de aves dispersoras de frutos de otras especies y la competencia por luz y agua. Las consecuencias sobre la vegetación dependen del resultado de la interacción de todos estos procesos y debemos interpretarlo como una síntesis de los mecanismos facilitadores y los de interferencia para cada forma de vida. Los mecanismos facilitadores prevalecen sobre los de interferencia cuando el estrés ambiental (p. ej. estrés hídrico, sobrepastoreo) es mayor. En todos los casos, la presencia de especies del género *Prosopis* provoca un reemplazo de especies bajo su cobertura que aumenta la diversidad de las comunidades.

Palabras clave: Dinamismo, herbívoros, dispersión, mantillo.

## SUMMARY

*The ability of Prosopis species to tolerate drought and adverse edaphic conditions is the reason for their dominant position in the woody vegetation of the arid and semi-arid zones of America. Studies on the ecology of these species can be grouped as: a) those analyzing the biotic and abiotic environmental factors that control the structure and dynamics of the Prosopis populations and, b) those studying the effect of Prosopis over the environmental conditions and, consequently, over the remaining community. In Argentina the regeneration and growth of different Prosopis populations have been studied in several regions: Chaco, Espinal and Monte. The climate (humidity and temperature), soils, the water table depth, biological disturbances and interactions (predation and seed dispersal, herbivory and competence) have been pointed at by diverse authors as the factors determining the structure and dynamics of the Prosopis woodlands. The importance of each factor depends on the regions. The species of the Prosopis genus generate a spatial heterogeneity modifying the species distribution of shrubs, grass and forbs. The mechanisms that generate this heterogeneity include: the modification of climatic conditions under their cover by moderation of extreme temperatures, evaporation decrease, precipitation redistribution, and modification of light intensity; the increase of fertility through nutrients accumulation; physical and chemical effects of litter; the provision of perching structures for birds that disperse seeds from other species; and the competence for light and water.*

*Key words: Dynamisms, herbivory, dispersion, litter.*

## INTRODUCCIÓN

El género *Prosopis* (Fabaceae, Mimosoideae) consta de 44 especies distribuidas principalmente en zonas áridas y semiáridas de América del Sur y del Norte, el este de Asia y el norte de África, 28 de las cuales se encuentran en Argentina (Burkart, 1976; Solbrig *et al.*, 1977; Fagg y Stewart, 1994). El género *Prosopis* incluye árboles, arbustos y, raramente, sub-arbustos. La capacidad de las especies del género de tolerar sequía y condiciones edáficas adversas, como la salinidad y alcalinidad, así como su adaptación a la herbivoría, son las principales razones de su posición dominante en la vegetación leñosa de zonas áridas y semiáridas de América (Fagg y Stewart, 1994).

Debido a su abundancia y comportamiento ecológico, las especies del género *Prosopis* son de gran importancia ecosistémica en zonas áridas y semiáridas del mundo, y de vital importancia en la economía rural de las mismas. En América del Sur, la relación del hombre con las especies del género se remonta a épocas precolombinas, constituyendo el principal alimento de humanos y de animales. Como ejemplo de esto, se puede citar a los huarpes de Mendoza para quienes eran tan importantes que las poblaciones se establecían donde había algarrobos, manteniendo cada tribu la propiedad sobre un algarrobal (D'Antoni y Solbrig, 1977; Roig, 1993). Ecológicamente, las especies del género *Prosopis* constituyen un importante recurso alimentario y de hábitat para un gran número de organismos (Mares *et al.*, 1977).

En Argentina, el género *Prosopis* ha sufrido un proceso adaptativo desde el Chaco subhúmedo hacia zonas más áridas y frías al oeste y al sur. Este proceso ha ocurrido a través de la adquisición de adaptaciones morfológicas y fisiológicas, como el paso de bioformas arbóreas a arbustivas, reducción foliar, ajuste osmótico, etc. Esto hace que la distribución del género abarque una gran variedad de condiciones ambientales, entre las que se pueden destacar dos gradientes muy claros: uno latitudinal de temperatura (más cálido al norte y frío al sur) y uno longitudinal de humedad (más húmedo al este y más seco al oeste). Esta variedad de condiciones ambientales lleva a que los factores que controlan la dinámica de los algarrobales sean distintos en cada región y en cada condición ambiental, dificultando el análisis general de estos aspectos.

En esta revisión se analizan principalmente dos aspectos de la ecología de las especies de *Prosopis*: a) el control que ejercen los factores ambientales bióticos y abióticos sobre la estructura y dinámica de las poblaciones de algarrobos y b) el efecto de los algarrobos sobre las condiciones ambientales y, consecuentemente, sobre el resto de la comunidad.

## ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LAS POBLACIONES DE ALGARROBO

La estructura y la dinámica poblacional de una especie está determinada por las características propias de la especie (heliófila o no, de rápido o lento crecimiento, etc),

los factores ambientales bióticos y abióticos y por la historia del sitio donde se desarrolla (Hutchings, 1997). Estos factores controlan la regeneración, el crecimiento y la mortalidad de las poblaciones de algarrobos.

### **Regeneración: ¿control climático o biológico?**

Hay dos etapas clave en el establecimiento de los algarrobos caracterizadas por una gran mortalidad. La primera ocurre entre producción de semillas y el establecimiento de la plántula y la segunda en el pasaje de plántula a renoval (Bush y Van Auken, 1991). Una vez superada la etapa de plántula la supervivencia es probablemente alta. Entonces, los factores que regulan estos dos procesos son clave en la dinámica del bosque.

### **Biología reproductiva**

La fenología de la floración y fructificación de las especies de *Prosopis* parecería predecible ya que el mecanismo que provee agua para la supervivencia y reproducción es la gran profundidad que alcanza su sistema radical (Mooney *et al.*, 1977). Sin embargo, el momento y la cantidad de precipitaciones puede afectar la producción de flores y frutos. Según Solbrig y Cantino (1975) menos del 3% de las miles de flores producidas inician el desarrollo de frutos y solo la mitad o un tercio lo completan. Money *et al.* (1977) y Peinetti *et al.* (1991) en otras especies del género coinciden en que el momento de floración es relativamente constante, pero solo una muy baja proporción de flores desarrollan frutos, y que la producción de frutos es muy variable entre años según la humedad del suelo. Las condiciones hídricas del suelo superficial parecerían tener incidencia en procesos fisiológicos, pues, en *Prosopis*, a pesar de considerarse freatófita, la actividad fotosintética depende de la disponibilidad de agua en el horizonte superior del suelo. La raíz principal es funcional recién cuando se agota el agua en superficie (freatófita facultativa) (Sosebee y Wan, 1987). En particular en el Monte, la fenología de *P. flexuosa* ha sido estudiada en ecosistemas naturales por Mooney *et al.* (1977) para Andalgalá (Catamarca) y por B. E. Rossi (comunicación personal) en Ñacuñán (Mendoza), y se ha mostrado que el inicio de sus etapas fenológicas no presenta grandes variaciones entre años, independientemente de las precipitaciones.

Con respecto al sistema reproductivo de *Prosopis*, diversos autores (Simpson *et al.*, 1977; Massuelli y Balboa, 1989; Genise *et al.*, 1990) caracterizan el sistema reproductivo de varias especies de *Prosopis* como autoincompatible, aunque difieren en cuanto a la existencia de protoginia.

### **Producción de semillas**

Existe una amplia discusión acerca de qué factores son importantes en la producción de frutos de *Prosopis*. El clima seguramente es un factor importante pero no está claro



cómo actúa. Según Karlín y Díaz (1984) las lluvias primaverales disminuyen la producción de frutos, principalmente si ocurren en el momento de la floración. El viento y las heladas tardías podrían ser perjudiciales durante la floración. Privitello *et al.* (2000) encuentran que la producción de frutos de *P. caldenia* se relaciona positivamente con la temperatura máxima de octubre y negativamente con la humedad relativa de diciembre-febrero.

Toro *et al.* (1993), en un estudio en zonas áridas de Chile, sugieren que los insectos tienen un importante papel en la reproducción de *Prosopis* y atribuyen el éxito en la producción de frutos, entre otros factores, a la existencia de un adecuado sistema de polinización. Los Apoidea y dentro de éstos las abejas solitarias (Andrenidae, Halictidae, Colletidae, algunos Apidae) constituyen el grupo más importante que efectúa la polinización (Simpson *et al.*, 1977).

Por su parte, los predadores predispersivos pueden disminuir la producción de semillas entre un 25 y 70%. Entre éstos, los brúquidos son sin duda los más importantes (Smith y Ueckert, 1974; Solbrig y Cantino, 1975; Kingsolver *et al.*, 1977; Agrawal, 1996). Entre los vertebrados, los loros barranqueros (*Cyanoliseus patagonus*) también pueden afectar la producción de semilla antes de que éstas terminen de formarse.

La fructificación de árboles del género *Prosopis* presenta una gran variabilidad interanual. La producción de semillas de *P. flexuosa* en el desierto del Monte podría ser de entre 80.000 y 800.000 semillas ha<sup>-1</sup> (Ffolliot y Thames, 1983; Dalmasso y Anconetani, 1993). En Ñacuñán se observó una gran variabilidad entre años y entre árboles en la fructificación y producción de semillas de *P. flexuosa* aunque la floración había sido bastante homogénea. Habiéndose realizado observaciones entre 1985 y 1989, y entre 1994 y 1999, *P. flexuosa* sólo presentó una notable fructificación y dispersión de semillas en 1987, 1995 y 1998 (L. Marone, comunicación personal).

Estos valores llevan a pensar que, a pesar de esta variabilidad y de los factores limitantes, la producción de frutos es suficiente para asegurar una regeneración natural si las condiciones climáticas y biológicas fueran las adecuadas.

### ***Destino de las semillas producidas***

Teniendo en cuenta esta producción de frutos, nos preguntamos cuál es el destino de la producción de frutos. ¿Termina realmente formando una nueva población de Algarrobos? Los posibles destinos son la formación de un banco de semilla, la predación, la descomposición o la germinación.

Poco se sabe del tamaño y dinámica del banco de semillas de *Prosopis*. La dormición física que presentan las semillas lleva a pensar en éstas como potenciales formadoras de un banco de semillas persistentes. Lerner y Peinetti (1996) desarrollaron un modelo empírico de longevidad de semillas de *P. caldenia* que sugiere que dicha especie podría formar bancos de semillas moderada a escasamente persistentes en La

Pampa, aunque no han realizado mediciones a campo. En Pipanaco, se ha observado que en plantaciones de olivos o algarrobos bajo riego han surgido plantines de *P. flexuosa* (observaciones personales), lo que lleva a pensar en la existencia de al menos algunas semillas en el banco. Sin embargo, en Ñacuñán, la gran variabilidad interanual observada en el número de semillas que llegan al suelo no se ha reflejado en las mediciones del banco de semillas y no se ha encontrado un banco de semillas de *P. flexuosa* ni siquiera moderadamente persistente (Marone y Horno, 1997; Marone *et al.*, 1998). Lewis *et al.* (1999) no encuentran un banco de semillas permanente en el chaco húmedo santafesino, aunque sí un banco de plántulas. La ausencia de banco de semillas persistentes es algo común entre los árboles y arbustos de zonas áridas, sobre todo aquellos que tienen semillas grandes.

Según Lerner y Peinetti (1996), el porcentaje de germinación no fue importante en *P. caldenia* en La Pampa, pero el ataque por brúquidos fue una causa importante de pérdidas predispersivas y posdispersivas alcanzando al 35% de las semillas (las pérdidas posdispersivas ocurrirían recién durante la primavera siguiente). Sin embargo, el diseño experimental usado no les permitió evaluar el impacto de otros predadores posdispersivos como hormigas y roedores. Villagra *et al.* (en prensa-b) estimaron la germinación y las pérdidas posdispersivas a corto plazo (máximo 15 días) de semillas de *P. flexuosa* en los algarrobales de Ñacuñán (Fig. 1). La germinación de semillas en artejos sanos o sujetos a escarificación mecánica alcanzó, en promedio, el 7% a los 15

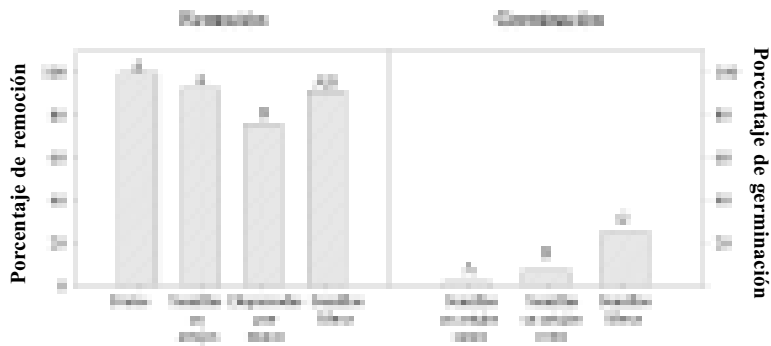


Figura 1. Tasas de remoción y germinación de semillas de *Prosopis flexuosa* en la Reserva de Ñacuñán (Mendoza). Letras diferentes indican diferencias significativas a  $P < 0,05$ . (Adaptado de Villagra *et al.*, en prensa-b.)

Figure 1. Removal and germination rates of *Prosopis flexuosa* seeds at the Reserva Ñacuñán (Mendoza). Different letters indicate significant differences at  $P < 0.05$  (Adapted from Villagra *et al.*, in press-b.)

días de iniciado el ensayo; mientras que después de 24 hs de iniciado el mismo, más del 90% de las semillas habían sido consumidas o removidas por hormigas y pequeños roedores, tanto las ofrecidas dentro de frutos, de artejos o como semillas libres. Estos resultados indican que la predación de las semillas apenas llegan al suelo podría explicar la ausencia de un banco de semillas persistente de *P. flexuosa*.

La descomposición no debería ser un factor importante de pérdidas ya que la escasa humedad que caracteriza a las zonas áridas y semiáridas no favorecería el desarrollo de hongos y bacterias. Ortega Baez *et al.* (2001) señalan que algunas vainas de *P. ferox* en Salta pueden permanecer 6 años sin presentar signos de descomposición, pero el 99% de las semillas son predadas por brúquidos.

Entonces, podemos concluir que la predación es un destino importante, quizás el principal, para las semillas de las especies de *Prosopis*. Las evidencias sugieren que no es común que formen bancos de semillas permanentes y que la descomposición no es una forma importante de pérdida de semillas. La germinación tampoco sería un destino importante, por lo que la mayor parte de las semillas producidas no germinan produciendo una plántula.

### **Importancia de la dispersión**

Las semillas de *Prosopis* son dispersadas frecuentemente por animales domésticos y silvestres y sus frutos presentan una serie de adaptaciones morfológicas y fisiológicas que permiten la dispersión endozoica (Peinetti *et al.*, 1993; Campos y Ojeda, 1997). Estas adaptaciones incluyen la presencia de un mesocarpo dulce con altas proporciones de azúcares y proteínas y una cutícula seminal dura e impermeable que impide el ingreso de agua y la destrucción del embrión dentro del tracto digestivo de los herbívoros (Kingsolver *et al.*, 1977). La dispersión de semillas es interpretada como un ejemplo de mutualismo entre plantas y animales donde los animales obtienen energía mientras rompen la dormición de las semillas permitiéndoles germinar. El aumento en la germinabilidad depende del dispersor, particularmente del grado de escarificación en que cada dispersor libera las semillas (Campos y Ojeda, 1997). Estos autores encontraron que semillas de *P. flexuosa* provenientes de heces de maras (*Dolichotis patagonum*) y vacas presentaron la mayor capacidad germinativa (Fig. 2). En el otro extremo se encuentra el jabalí europeo que destruye todas las semillas que consume (viabilidad cercana a cero), siendo considerado un predador y no un dispersor.

Sin embargo, los beneficios para la planta no se limitarían a la ruptura de la dormición, sino que se han estudiado otros efectos indirectos de la dispersión por herbívoros. Por ejemplo hay datos que sugieren que el paso por el tracto digestivo del herbívoro aumenta la longevidad de las semillas a través de la disminución de la predación por parte de brúquidos (Lerner y Peinetti, 1996), o de otros granívoros (Villagra *et al.*, en prensa-b). Los mecanismos de este proceso no han sido estudiados pero es posible que la digestión del herbívoro elimine los azúcares que rodean la semilla

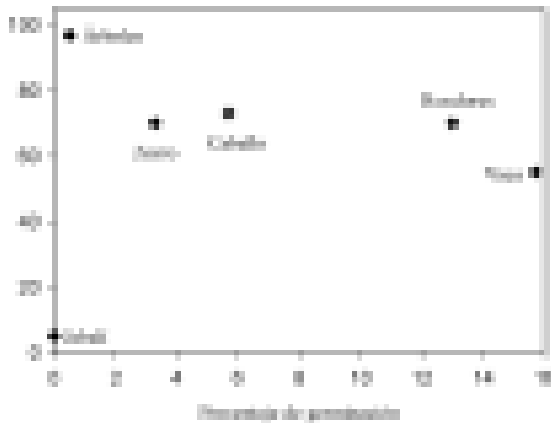


Figura 2. Relación entre la viabilidad y el porcentaje de germinación en semillas provenientes directamente de los árboles o dispersadas por diferentes herbívoros (tomado de Campos y Ojeda, 1997)

Figure 2. Relation between viability and germination percentage in seeds proceeding directly from trees or dispersed by different herbivores (taken from Campos y Ojeda, 1997)

y la hagan menos atractiva o detectable a los predadores (Miller, 1993).

Además, otro efecto que puede ser importante es la relocalización de las semillas en micrositios más o menos favorables, aunque no hay estudios sobre este tema en los algarrobales argentinos.

### **Establecimiento**

Los factores que determinan el establecimiento de los algarrobales en condiciones naturales no están totalmente aclarados. Entre los factores físicos, el estrés hídrico, la salinidad, el tipo de suelo han sido tradicionalmente citados como reguladores de la germinación y el establecimiento de las especies de *Prosopis*; hay numerosos trabajos al respecto (Felker *et al.*, 1981; Sosebee y Wan, 1987; Arce y Balboa, 1988; Van Auken y Bush, 1989; López Villagra y Galera, 1992; Catalán *et al.*, 1994; Villagra, 1995; Cony, 1996; Cony y Trione, 1996; Vilela, 1996; Van Auken y Bush, 1997; Villagra, 1997; Cony y Trione, 1998; Villagra y Cavagnaro, 2000).

Sin embargo, hay otros factores que pueden también regular el establecimiento. Catalán (2000) presenta un análisis de la importancia de la competencia a través del

patrón espacial en *P. flexuosa* en el Chaco Árido y encuentra que la competencia con los adultos disminuye el crecimiento mientras que la competencia con arbustos no. Lerner *et al.* (2000) obtiene resultados semejantes en *P. caldenia*. Por su parte, Distel *et al.* (1996) señalan que el establecimiento de esta especie se ve disminuido por la competencia con gramíneas. En las llanuras mendocinas, *P. flexuosa* presenta una distribución al azar lo cual indica que la competencia entre individuos no es importante durante el establecimiento; tampoco hubo indicios de competencia con otras especies arbóreas como *Bulnesia retama* y *Geoffroea decorticans* (Villagra, Villalba y Boninsegna, datos no publicados). Es posible que los efectos de la competencia sean más importantes en zonas con menor estrés ambiental, ya que en sitios más áridos otros factores pasan a ser los principales y los enmascaran (Callaway y Walker, 1997).

Varios autores sugieren que la ganadería es una de las causas del aumento de las poblaciones de *Prosopis* en Texas (Archer, 1995a; Archer, 1995b) y en La Pampa (Dussart *et al.*, 1998). En estos casos, el efecto positivo del ganado (por dispersión de semillas y reducción de la competencia por pastos) sería mayor que el efecto negativo de la herbivoría y el pisoteo. Por el contrario, el pastoreo es un factor limitante en la regeneración del bosque en el Chaco Árido (Saravia Toledo y del Castillo, 1988), mientras que Barchuk *et al.* (1998) encuentran que el pastoreo no afecta la supervivencia de *P. chilensis*. Es muy probable que el efecto dependa de la carga ganadera.

Por último, otro aspecto que debe tenerse en cuenta es la aptitud de los distintos micrositios en el establecimiento. Barchuk *et al.*, (1998) encuentran en *P. chilensis* mayor supervivencia en áreas expuestas que bajo *Larrea divaricata*. Por el contrario, observan que *Larrea divaricata* y *Mimozyanthus carinatus* tienen un efecto nodriza sobre *P. flexuosa* (Barchuk y Carranza, 2000). El entendimiento de este punto necesita de nuevos estudios ya que es un campo poco explorado en Argentina.

### **¿Banco de plántulas?**

Hay datos que indican que las plántulas de algunas especies de *Prosopis* pueden permanecer con un crecimiento nulo o muy pequeño y llegar a formar bancos de plántulas. En el Chaco sub-húmedo, Lewis *et al.* (1999) encuentran que se forma un banco de juveniles y en Ñacuñán encontramos que las plantas jóvenes tienen un crecimiento diamétrico muy bajo y mucho menor que las plantas adultas (por ejemplo, plantas 1,5 cm de DAB llegan a tener 34 años de edad) (Villagra, Villalba y Boninsegna, datos no publicados).

¿Cuáles son los factores que afectan el desarrollo de estas semillas y que llevan a que las plántulas permanezcan mucho tiempo sin crecer? Si tenemos en cuenta el gradiente de humedad, es de esperar que en las regiones más xéricas las variaciones climáticas (condicionantes de la disponibilidad de agua) sean las que determinan las posibilidades de establecimiento y el crecimiento de las distintas poblaciones de algarrobos. En cambio, en las zonas más húmedas la competencia y el disturbio

aparecen como los factores principales. En el Monte, nuestra hipótesis es que sobreviven mucho tiempo con un crecimiento aéreo muy bajo pero desarrollando su sistema radical hasta que consiguen una fuente suplementaria de agua subterránea. Algunos datos apoyan esta hipótesis, ya que se ha observado en *P. flexuosa* que desarrollan un sistema vascular seguro (vasos pequeños y agrupados) durante los primeros años mientras que en años posteriores desarrollan un sistema más eficiente en el transporte del agua aunque menos seguro (vasos grandes y solitarios) (Villalba y Boninsegna, 1989).

Seguramente, en el Chaco sub-húmedo la formación de un banco de plántulas está determinada por el sombreado del estrato superior. En estas zonas, los disturbios podrían ser un factor positivo para el desarrollo de esas plántulas, provocando una liberación del crecimiento por disminución de la competencia. En los sitios más secos, en cambio, un disturbio, como el fuego, puede eliminar la plántula pequeña aumentando la mortalidad.

Por último, la herbivoría puede ser un factor muy importante en el no crecimiento de las plántulas. En Telteca, encontramos 100% de ataque de la liebre de castilla en un ensayo de forestación, en el cual todo lo que sale fuera de los protectores de la planta es consumido por la liebre, provocando la disminución de la productividad de la planta (Cony, Mantován y Villagra, datos no publicados). En Ñacuñán, observé una planta de 34 años que tenía apenas 5 cm de altura ya que había sido consumida año a año por tunduques (*Ctenomys mendocinus*).

## **Crecimiento**

¿Qué pasa con los factores que afectan el crecimiento? No lo vamos a desarrollar demasiado aunque hay algunos trabajos que abordan el tema (Calzon Adorno, 1995; Perpiñal *et al.*, 1995; Villagra *et al.*, en prensa-a). Podemos decir que las precipitaciones y la profundidad de la freática afectan el crecimiento de los algarrobos del Monte. *Prosopis* crece más en la Reserva Telteca a pesar de tener MUCHO MENOS precipitaciones y esto se debe a que la freática está a 10 m mientras que en Ñacuñán se encuentra a 70 m de profundidad. La disponibilidad extra de agua es la que está determinando el crecimiento en las plantas en este caso (Villagra *et al.*, en prensa-a). Por su parte, el crecimiento radial de *P. ferox* se relaciona positivamente con las precipitaciones de verano y negativamente con la temperatura de verano en la prepuna, indicando de esta manera que el factor que controla el crecimiento sería el balance hídrico (Morales *et al.*, 2001).

## **Mortalidad**

Los factores que afectan la mortalidad también pueden afectar la dinámica de los algarrobales. Por ejemplo, *P. flexuosa* es una especie sensible al anegamiento y es eliminada sistemáticamente de la zona de inundación del río Mendoza. Por el contrario, *P. alpataco*, con adaptaciones que le permiten tolerar el anegamiento, se vuelve

dominante en este tipo de ambientes (Roig, 1987; Villagra, 1998; Villagra y Roig, 1999). Sin embargo, las causas de mortalidad de las distintas especies de *Prosopis* es un tema que no ha sido abordado para los algarrobales argentinos.

## EFFECTO DE LOS ALGARROBOS SOBRE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

### Efectos sobre estratos arbustivos y herbáceos

Consideraremos aquí un gradiente de estrés ambiental (cualquier factor ambiental) en el cual las interacciones entre dos especies vegetales tienen un interjuego entre interferencia y facilitación. En zonas donde el estrés ambiental es mayor, la facilitación es más importante que la interferencia, y en zonas donde el estrés es menor, la interferencia se vuelve más importante que la facilitación (Callaway, 1997; Callaway y Walker, 1997).

La presencia del algarrobo modifica la distribución de las especies que integran los estratos arbustivos y herbáceos. En zonas muy áridas se encuentra mayor diversidad debajo de la cobertura, y en zonas húmedas la diversidad no es diferente sino simplemente un cambio en la composición de especies. Así, Rossi y Villagra (2000), al analizar la frecuencia y composición de especies entre sitios bajo la cobertura de los árboles y en áreas expuestas en Ñacuñán, encuentran especies que prefieren la cobertura de *P. flexuosa* (e.g. *Ephedra triandra*, *Capparis atamisquea*, *Lycium tenuispinosum*, *Setaria leucopila*, *Chenopodium papulosum*) y otras especies que prefieren las áreas expuestas (e.g. *Sporobolus cryptandrus*, *Heliotropium mendocinum*, *Larrea divaricata*, *Parthenium hysterophorus* y *Pappophorum caespitosum*). El reemplazo de especies se da según las formas de vida y adaptaciones de las distintas especies. Bajo la cobertura de *P. flexuosa* aumenta el número de especies arbustivas y enredaderas respecto de las áreas expuestas, mientras que en estas últimas aumenta el número de especies de gramíneas anuales y perennes y de herbáceas perennes.

El efecto que puede tener el algarrobo varía según la intensidad de disturbios como el pastoreo. Steinaker *et al.* (2000) encuentran especies asociadas a *P. flexuosa* en San

Tabla 1. Porcentajes de cobertura bajo *Prosopis flexuosa* y en áreas expuestas de tres gramíneas palatables en un campo con 25 años de clausura (Ñacuñán, Mendoza) (Rossi y Villagra, 2000) y uno pastoreado (San Luis) (Steinaker *et al.* 2000)

Table 1. Coverage under the canopy of *Prosopis flexuosa* and exposed areas of three palatable grasses in a field closed for 25 years (Ñacuñán, Mendoza) (Rossi & Villagra, 2000) and in a grazed field of San Luis (Steinaker *et al.*, 2000)

|                                | ÑACUÑÁN              |                 | SAN LUIS             |                 |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                                | Bajo <i>Prosopis</i> | Áreas expuestas | Bajo <i>Prosopis</i> | Áreas expuestas |
| <i>Pappophorum caespitosum</i> | 13                   | 45              | 81                   | 62              |
| <i>Digitaria californica</i>   | 22                   | 47              | 56                   | 19              |
| <i>Trichloris crinita</i>      | 28                   | 40              | 34                   | 6               |

Luis que en Ñacuñán prefieren áreas expuestas (Rossi y Villagra, 2000) (Tabla 1). Estas diferencias pueden deberse al pastoreo ya que las especies que muestran este comportamiento son pastos altamente palatables como *Pappophorum caespitosum* y *Aristida mendocina*.

### Mecanismos de interacción

Una serie de ensayos (en el cual incluimos pluviómetros, evaporímetros, medimos humedad del suelo y temperatura, composición química del suelo, etc.) permitieron describir las modificaciones en el microclima que ocurren bajo la cobertura de *P. flexuosa* en Ñacuñán. Esta especie crea un gradiente área expuesta/bajo cobertura en el que aumenta la humedad y disminuyen las temperaturas máximas y la intensidad de luz. Además, las temperaturas mínimas del suelo en el invierno son mayores que en las áreas expuestas y nunca fueron menores a 0 °C (Villagra *et al.*, 2000). Esta moderación de las condiciones térmicas puede ser importante para el establecimiento de otras especies.

La presencia de *P. flexuosa* también induce cambios edáficos bajo su cobertura. Elementos limitantes en el Monte, como la materia orgánica, nitrógeno y fósforo presentan mayores concentraciones bajo la cobertura que en áreas expuestas (Rossi y Villagra, datos no publicados). Esto sugiere un aumento de la fertilidad bajo *P. flexuosa*

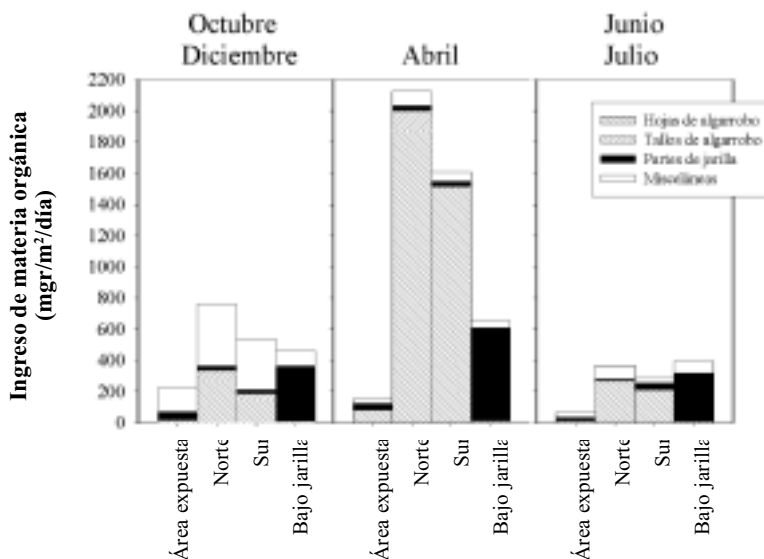


Figura 3. Ingreso de materia orgánica en distintos micrositios en la Reserva de Ñacuñán (Mendoza)  
 Figure 3. Input of organic matter at different micro-sites at the Reserva Ñacuñán (Mendoza)



a través del aporte de nutrientes, ya sea por la fijación de nitrógeno en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* y por modificación de la dinámica de nutrientes. Hemos observado que el mayor aporte de materia orgánica en el Monte lo realiza *P. flexuosa* y se localiza principalmente bajo su cobertura (Fig. 3) (Alvarez *et al.*, 2000).

Las modificaciones edáficas pueden ser utilizadas desde el punto de vista del manejo. Por ejemplo, Galera *et al.* (1999) encuentran que el crecimiento del maíz bajo la cobertura de *P. alba* y *P. nigra* es mayor que en áreas expuestas, posiblemente debido a los cambios edáficos antes mencionados.

Otros factores que contribuyen a la modificación de la distribución de otras especies es el apoyo que ofrece a las epífitas y enredaderas y la oferta de perchas para aves dispersoras de semillas.

Concluimos que las especies del género *Prosopis* son componentes importantes en el hábitat de otras especies, no solo de plantas sino también de distintos taxones, como puede ser nido para aves, refugio para roedores, etc. Los algarrobos generan una heterogeneidad espacial que modifica la distribución de nutrientes y de las especies del estrato arbustivo y herbáceo que prefieren la cobertura.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGRAWAL, A. A., 1996. Natural history, seed predation, and germination of *Prosopis juliflora* relative to a reforestation project in Southwestern Ecuador. *Tropical Ecology*. 37: 193-201.
- ALVAREZ, J. A., V. SAUMA, P. E. VILLAGRA & B. E. ROSSI, 2000. Aporte de materia orgánica por *Prosopis flexuosa* en el Monte Central. *Reunión Nacional del Algarrobo. Resúmenes*. Mendoza. 56.
- ARCE, P. & O. BALBOA, 1988. Some aspects of the biology of *Prosopis* growing in Chile. In: M. Habit (Ed.). *Current state of Knowledge on Prosopis juliflora*. F.A.O. 313-322.
- ARCHER, S. 1995a. Herbivory mediation on grass-woody plant interactions. *Tropical Grasslands* 29: 218-235.
- ARCHER, S. 1995b. Tree-grass dynamics in a *Prosopis*-thornscrub savanna parkland: Reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience* 2(1): 83-99.
- BARCHUK, A. H. & C. CARRANZA, 2000. Plantas nodrizas en el establecimiento de *Prosopis flexuosa* en el Chaco Árido. *Reunión Nacional del Algarrobo. Resúmenes*. Mendoza. 54.
- BARCHUK, A. H., M. P. DÍAZ, F. CASANOVES, M. G. BALZARINI & U. O. KARLIN, 1998. Experimental study on survival rates in two arboreal species from the Argentinean Dry Chaco. *Forest Ecology and Management* 103: 203/210.
- BURKART, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum* 57: 219-249; 450-455.
- BUSH, J. K. & O. W. VAN AUKEN, 1991. Importance of time of germination and soil depth on growth of *Prosopis glandulosa* (Leguminosae) seedlings in the presence of a C4 grass. *American Journal of Botany* 78(12): 1732-1739.

- CALLAWAY, R. M. 1997. Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. *Oecologia* 112(2): 143-149.
- CALLAWAY, R. M. & L. R. WALKER, 1997. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78(7): 1958-1965.
- CALZON ADORNO, M. E. 1995. *Estudio de la productividad económica de un bosque de algarrobo en el Departamento de Cafayate. Pcia de Salta*. Tesis profesional. Universidad Nacional de Salta. Salta. 69 pp.
- CAMPOS, C. M. & R. A. OJEDA, 1997. Dispersal and germination of *Prosopis flexuosa* (Fabaceae) seeds by desert mammals in Argentina. *Journal of Arid Environment* 35: 707-714.
- CATALÁN, L., M. BALZARINI, E. TALEISNIK, R. SERENO & U. KARLIN, 1994. Effects of salinity on germination and seedling growth of *Prosopis flexuosa* (D.C.). *Forest Ecology and Management* 63: 347-357.
- CATALÁN, L. A., 2000. *Crecimiento leñoso de Prosopis flexuosa en una sucesión post-agrícola en el Chaco Árido: efectos relaciones de distintos factores de proximidad*. Tesis Doctoral. Córdoba. 182 pp.
- CONY, M. A. 1996. Genetic variability in *Prosopis flexuosa* D. C., a native tree of the Monte phytogeographic province, Argentina. *Forest Ecology and Management* 87: 41-49.
- CONY, M. A. & S. O. TRIONE, 1996. Germination with respect to temperature of two Argentinian *Prosopis* species. *Journal of Arid Environment* 33: 225-236.
- CONY, M. A. & S. O. TRIONE, 1998. Inter- and intraspecific variability in *Prosopis flexuosa* and *P. chilensis*: seed germination under salt and moisture stress. *Journal of Arid Environments* 40(3): 307-317.
- DALMASSO, A. D. & J. ANCONETANI, 1993. Productividad de frutos de *Prosopis flexuosa* (Leguminosae), algarrobo dulce, en Bermejo, San Juan. *Multequina* 2: 173-181.
- D'ANTONI, H. L. D. & 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. US/IBP Synthesis Series* 4. Dowden, Hutchinson y Ross, Inc. 1-26.
- DISTEL, R. A., D. V. PELAEZ, R. M. BOO, M. D MAYOR & O. R. ELIA, 1996. Growth of *Prosopis caldenia* seedlings in the field as related to grazing history of the site and in a greenhouse as related to different levels of competition from *Stipa tenuis*. *Journal of Arid Environments* 32(3): 251-257.
- DUSSART, E., P. LERNER & R. PEINETTI, 1998. Long term dynamics of 2 populations of *Prosopis caldenia* Burkart. *Journal of Range Management* 51: 685-691.
- FAGG, C. W. & J. L. STEWART, 1994. The value of *Acacia* and *Prosopis* in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environment* 27: 3-25.
- FELKER, P., P. CLARK, A. E. LAAG & P. F. PRATT, 1981. Salinity tolerance of the tree legumes mesquite (*Prosopis glandulosa* var *torreyana*, *P. velutina*, and *P. articulata*) algarrobo (*P. chilensis*), Kiawe (*P. pallida*) and tamarugo (*P. tamarugo*) grown in sand culture on nitrogen free media. *Plant and Soil* 61: 311-317.
- FFOLLIOT, P. F. & J. L. THAMES, 1983. *Recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas de Prosopis en América Latina*. F.A.O. Tucson, Arizona. 39 pp.

- GALERA, F. M., G. ÁVILA, A. ABRIL & E. ZAMORA, 1999. Efecto de leguminosas *Prosopis* sp. y *Phaseolus vulgaris* L. en intercultivo sobre la producción de *Zea mays* en el semiárido. *XIX Reunión Argentina de Ecología. Libro de resúmenes*. Tucumán. 152.
- GENISE, J., R. A. PALACIOS, P. S. HOC, R. CARRIZO, L. MOFFAT, M. P. MOM, M. A. AGULLO, P. PICCA & S. TORREGROSA, 1990. Observaciones sobre la Biología Floral de *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). II. Fases Florales y Visitantes en el Distrito Chaqueño Serrano. *Darwiniana* 30(1-4): 71-85.
- HUTCHINGS, M. J., 1997. The structure of plant populations. En: M.J. Crawley (Ed.). *Plant Ecology. Blackwell Science* 325-358.
- KARLIN, U. & R. DÍAZ, 1984. *Potencialidad y Manejo de Algarrobos en el Árido Subtropical Argentino*. Secretara de Ciencia y Técnica, República Argentina. 59 pp.
- KINGSOLVER, J. M., C. D. JOHNSON, S. R. SWIER & A. L. TERAN, 1977. *Prosopis* fruits as a resource for invertebrates. In: B.B. Simpson (Ed.). *Mesquite. Its biology in two Desert Scrub Ecosystems. US/IBP Synthesis Series* 4. Dowden, Hutchinson y Ross, Inc. 108-122.
- LERNER, P. & R. PEINETTI, 1996. Importance of predation and germination on losses from the seed bank of caldén (*Prosopis caldenia*). *Journal of Range Management* 49: 147-150.
- LERNER, P., R. PEINETTI, A. SOSA & A. KIN, 2000. Relaciones competitivas intraespecíficas e interespecíficas del caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) inferidas en base al patrón espacial a escala local. *Reunión Nacional del Algarrobo. Resúmenes*. Mendoza. 52.
- LEWIS, J. P., I. M. BARBERIS, E. F. PIRE & N. J. CARNEVALE, 1999. Estructura y funcionamiento de los bosques del Chaco Húmedo santafecino. *XIX Reunión Argentina de Ecología. Libro de resúmenes*. Tucumán. 13.
- LÓPEZ VILLAGRA, G. M. & F. M. GALERA, 1992. Soil salinity-sodicity effects on germination, survival and development in four populations of *Prosopis strombulifera* (Lam) Benth (Fabaceae:Mimosoideae). In: R.W. Dutton (Ed.). *Prosopis species. Aspects of their value, research and development*. FAO-UNESCO-IPA. 219-234.
- MARES, M. A., F. A. ENDERS, J. M. KINGSOLVER, J. L. NEFF & B. B. SIMPSON, 1977. *Prosopis* as a niche component. En: B.B. Simpson (Ed.). *Mesquite. Its biology in two Desert Scrub Ecosystems. US/IBP Synthesis Series* 4. Dowden, Hutchinson y Ross, Inc. 123-149.
- MARONE, L. & M. E. HORNO, 1997. Seed reserves in the central Monte Desert, Argentina: implications for granivory. *Journal of Arid Environment* 36: 661-670.
- MARONE, L., B. E. ROSSI & M. E. HORNO, 1998. Timing and spatial patterning of seed dispersal and redistribution in a South American warm desert. *Plant Ecology* 137(2): 143-150.
- MASSUELLI, R. W. & O. BALBOA, 1989. Self-incompatibility in *Prosopis flexuosa*. D.C. *Plant Cell. Incompatibility Newsletter* 21: 44-48.
- MILLER, M. F., 1993. Is it advantageous for *Acacia* seeds to be eaten by ungulates? *Oikos* 66(2): 364-368.
- MOONEY, H. A., B. B. SIMPSON & O. T. SOLBRIG, 1977. Phenology, morphology, physiology. En: B.B. Simpson (Ed.). *Mesquite. Its biology in two Desert Scrub Ecosystems. US/IBP Synthesis Series* 4. Dowden, Hutchinson y Ross, Inc. 26-43.

- MORALES, M. S., R. VILLALBA, H. R. GRAU, P. E. VILLAGRA, J. A. BONINSEGNA, A. RIPALTA & L. PAOLINI, 2001. Potencialidad de *Prosopis ferox* Griseb (Leguminosae, subfamilia: Mimosoideae) para estudios dendrocronológicos en desiertos subtropicales de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural* 74:889-896.
- ORTEGA BAEZ, P., M. DE VIANA & M. SARAVIA, 2001. The fate of *Prosopis ferox* seeds from unremoved pods at National Park Los Cardones. *Journal of Arid Environment* 48(2): 185-190.
- PEINETTI, R., O. MARTÍNEZ & O. BALBOA, 1991. Intraspecific variability in vegetative and reproductive growth of a *Prosopis caldenia* Burkart population in Argentina. *Journal of Arid Environment* 21: 37-44.
- PEINETTI, R., M. PEREYRA, A. KIN & A. SOSA, 1993. Effects of cattle ingestion on viability and germination rate of caldén (*Prosopis caldenia*) seeds. *Journal of Range Management* 46: 483-486.
- PERPIÑAL, E., M. BALZARINI, L. CATALÁN, L. PIETRARELLI & E. KARLIN, 1995. Edad de culminación del crecimiento en *Prosopis flexuosa* D. C. en el Chaco árido argentino. *Investig. Agr.: Sist. Recur. For.* 4(1): 45-55.
- PRIVITELLO, M. J. L., E. G. GABUTTI & J. L. LEPORATI, 2000. Factores ambientales que afectan la producción de chauchas de caldén, *Prosopis caldenia* Burk. *Reunión Nacional del Algarrobo. Resúmenes*. Mendoza. 47.
- ROIG, F. 1987. Árboles y Arbustos en *Prosopis flexuosa* y *P. alata*. *Parodiiana* 5(1): 49-64.
- ROIG, F. A. 1993. Aportes a la etnobotánica del género *Prosopis*. En: IADIZA (Ed.). *Contribuciones Mendocinas a la Quinta Reunión de Regional para América Latina y el Caribe de la Red de Forestación del CIID*. Conservación y Mejoramiento de Especies del Género *Prosopis*. Mendoza, Argentina. 99-119.
- ROSSI, B. E. & P. E. VILLAGRA, 2000. Efecto de la cobertura de *Prosopis flexuosa* sobre la composición de los estratos arbustivos y herbáceos en el Monte Central (Argentina). En: P. Jiménez, Talavera Delgado, C., Villegas Paredes, L., Ortega Paredes, A. y Villasante Benavides, F. (Ed.). *Memorias del IV Congreso Latinoamericano de Ecología. Ecología y Desarrollo Sostenible: Reto de América Latina para el Tercer Milenio*. Instituto Regional de Ciencias Ambientales - UNESCO. Arequipa, Perú. 163-165.
- SARAVIA TOLEDO, C. J. & E. M. DEL CASTILLO, 1988. Uso racional de bosque chaqueño semiárido. *VI Congreso Forestal Argentino*. Santiago del Estero. 848-852.
- SIMPSON, B. B., J. L. NEFF & A. R. MOLDENKE, 1977. *Prosopis* flowers as a resource. In: B.B. Simpson (Ed.). *Mesquite. Its biology in two desert ecosystems. US/IBP Synthesis Series* 4. Dowden, Hutchinson y Ross, Inc. 84-107.
- SMITH, L. L. & D. N. UECKERT, 1974. Influence of insects on mesquite seed production. *Journal of Range Management* 27: 61-65.
- SOLBRIG, O., M. A. BARBOUR, J. CROSS, G. GOLDSTEIN, C. H. LOWE, J. MORELLO & T. W. YANG, 1977. The Strategies and Community Patterns of Desert Plants. In: G.H. Orians y Solbrig, O.T. (Ed.). *Convergent Evolution in Warm Deserts. US/IBP Synthesis No 3*. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc Stroudsburg, Pp. 67-106.
- SOLBRIG, O. T. & P. D. CANTINO, 1975. Reproductive adaptations in *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum* 56(2): 185-210.

- SOSEBEE, R. E. & C. WAN, 1987. Plant ecophysiology: a case study of honey mesquite. *Symposium on Shrub Ecophysiology and Biotechnology*. Logan, Utah. 103-117.
- STEINAKER, D. F., C. MARTÍNEZ & M. O. AGUILERA, 2000. En el ecotono Monte-Chaco Árido de San Luis, las especies de alto valor forrajero se encuentran bajo el canopeo de las leñosas. *Reunión Nacional del Algarrobo. Resúmenes*. Mendoza. 53.
- TORO, H., E. CHIAPPA, R. COVARRUBIAS & R. VILLASEÑOR, 1993. Interrelaciones de polinización en zonas áridas de Chile. *Acta Entomológica Chilena* 18: 20-29.
- VAN AUKEN, O. W. & J. K. BUSH, 1989. *Prosopis glandulosa* growth: Influence of nutrients and simulated grazing of *Bouteloua curtipendula*. *Ecology* 70(2): 512-516.
- VAN AUKEN, O. W. & J. K. BUSH, 1997. Growth of *Prosopis glandulosa* in response to changes in aboveground and belowground interference. *Ecology* 78(4): 1222-1229.
- VILELA, A. 1996. *Morfología y anatomía foliar de especies sudamericanas del género Prosopis (Leguminosae-Mimosoideae): un enfoque adaptativo*. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. pp.
- VILLAGRA, P. E. 1995. Temperature effects on germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Fabaceae, Mimosoideae). *Seed Science and Technology* 23: 639-646.
- VILLAGRA, P. E. 1997. Germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* seeds under saline conditions. *Journal of Arid Environments* 37: 261-267.
- VILLAGRA, P. E. 1998. *Comparación del comportamiento fitosociológico y ecofisiológico de Prosopis argentina y P. alpataco (Fabaceae, Mimosoideae)*. Tesis doctoral. Mendoza. 130 pp.
- VILLAGRA, P. E. & J. B. CAVAGNARO, 2000. Effects of clayish and sandy soils on the growth of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* seedlings. *Ecología Austral* 10: 111-119.
- VILLAGRA, P. E., M. A. CONY, N. G. MANTOVÁN, B. E. ROSSI, M. M. GONZÁLEZ LOYARTE, R. VILLALBA & L. MARONE, en prensa (a). Ecología y Manejo de los algarrobales de la Provincia Fitogeográfica del Monte. In: Frangi y Brown, A. (Ed.). *Ecología y Manejo de Bosques Nativos de Argentina*.
- VILLAGRA, P. E., L. MARONE & M. A. CONY, en prensa (b). Mechanism affecting the fate of *Prosopis flexuosa* seeds during secondary dispersal in the Monte desert. *Austral Ecology*.
- VILLAGRA, P. E. & F. A. ROIG, 1999. Vegetación de las márgenes de inundación del Río Mendoza en su zona de divagación (Mendoza, Argentina). *Kurtziana* 27(2): 309-317.
- VILLAGRA, P. E., B. E. ROSSI & J. A. ÁLVAREZ, 2000. Efecto de *Prosopis flexuosa* sobre las condiciones microambientales en el Monte central (Reserva de Biosfera de Ñacuñán, Mendoza, Argentina). *Reunión Nacional del Algarrobo. Resúmenes*. Mendoza. 57.
- VILLALBA, R. & J. A. BONISEGNA, 1989. Dendrochronological studies on *Prosopis flexuosa* D.C. *IAWA bulletin* n.s. 10(2): 155-160.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000





## FISIOLOGÍA DE *PROSOPIS* SPP.

*PHYSIOLOGY OF PROSOPIS SPP.*

CARLOS B. PASSERA

Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA-CONICET)  
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo

### RESUMEN

El área de distribución del género *Prosopis* está caracterizada por ambientes xéricos donde estos vegetales han debido desarrollar especiales mecanismos fisiológicos para lograr su sobrevivencia.

Estas plantas poseen una gran variedad de adaptaciones y tipos biológicos, que le confieren amplias ventajas ecológicas competitivas a través de las cuales logran tener, en algunos casos, una alta cobertura vegetal, por lo que caracterizan fisonómicamente territorios en los cuales el déficit hídrico confiere su principal impronta.

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión general de los principales aspectos ecofisiológicos del género *Prosopis*, mediante el análisis crítico de los trabajos científicos realizados en diferentes lugares del mundo.

La germinación es una etapa delicada en la vida de todos los vegetales, en función de los trabajos existentes sobre este aspecto, se puede observar que las semillas de *Prosopis* ssp. poseen la capacidad de germinar en condiciones de elevado estrés hídrico y salino e incluso de alta concentración sódica. Las temperaturas óptimas de germinación indican una adaptación de las diferentes especies a condiciones ambientales de relativas altas temperaturas (de 25 a 40°C), verificándose el proceso germinativo para *Prosopis flexuosa* aun en condiciones de potenciales agua de -2,2 MPa (Cony y Trione, 1998). Existe además interacción entre la temperatura y la disponibilidad hídrica, siendo mayor la necesidad de agua en la medida que las temperaturas sean sub-óptimas.

En la mayoría de los casos la fuerte cubierta seminal determina que los procesos de escarificación natural (paso por el tracto ruminal) o los métodos artificiales mejoren el poder germinativo.

El estado de plántula constituye el momento crítico respecto de la vulnerabilidad de este género para sobrevivir a condiciones adversas. El hábito de enraizamiento, caracterizado por un amplio crecimiento radicular aun cuando el vástago tiene un escaso desarrollo, confiere ventajas. Esto afirma la condición freatófita o de freatófita facultativa de los *Prosopis*, lo cual permite el desarrollo de bosques abiertos aun en lugares donde el balance hídrico del clima no lo permitiría.

El género *Prosopis* presenta ejemplos de altas tasas fotosintéticas para los ambientes que habita. Se han determinado valores de Intercambio Neto de Carbono (INC) de hasta 30 y 40 mg CO<sub>2</sub> dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, que son superiores a los de cualquier otro vegetal del desierto y semejante al de especies cultivadas del tipo fotosintético C3 e incluso de las especies del tipo C4. Trabajos realizados en *Prosopis glandulosa* indican que en ellos no se verifica saturación lumínica hasta valores de irradiancia de 1780 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, lo que indica su acentuada condición heliófita.

La alta eficiencia fotosintética también se basa en un ajustado balance hídrico, aspecto que se verifica por el mantenimiento de altos valores de turgencia aun luego de prolongados períodos de sequía (Cavagnaro y Passera, 1993). Para ello realizan ajuste osmótico (Nilsen *et al.*, 1983) y en condiciones extremas solamente hacen fotosíntesis en tempranas horas de la mañana cuando la demanda atmosférica de agua aún no es elevada.

El último aspecto importante de destacar sobre la fisiología de *Prosopis* es el transporte de fotoasimilados, estos vegetales priorizan sus funciones reproductivas, pero en momentos que no existe floración ni fructificación almacenan sus reservas en troncos y raíces, de esta manera pueden mantener determinadas estructuras, como un eficiente sistema radicular y otras adaptaciones morfofisiológicas que les confieren ventajas para poder enfrentar las extremas condiciones ambientales en las que viven.

Palabras clave: Germinación, estrés hídrico, potencial agua, potencial osmótico.

## SUMMARY

*The distribution area of Prosopis genus is characterized by the aridity. Prosopis shows a high variety of adaptations and life forms in these territories with hydric deficit. The aim of this paper is to make a general revision on the principal ecophysiological aspects of Prosopis analysing different scientific papers from many parts of the world.*

*Key words: Germination, hydric stress, water potential, osmotic potential.*



## INTRODUCCIÓN

El género *Prosopis* posee una amplia distribución, principalmente en las zonas áridas y semiáridas del mundo, en ellas se pueden contabilizar 44 diferentes especies ubicadas principalmente en América del Sur, América del Norte, este de Asia y centro y norte de África.

Estos vegetales constituyen una importante fuente de madera, leña, sombra, forraje y alimento directo para el hombre.

Dentro del género podemos encontrar variados tipos biológicos, es decir subarbustos, arbustos y árboles que en su gran mayoría se comportan como oportunistas respecto del uso del agua, es decir manteniendo pulsos de crecimiento en momentos de disponibilidad hídrica y entrando en receso vegetativo durante las etapas de sequía.

Podemos encontrar en estos vegetales múltiples adaptaciones morfofisiológicas que les confieren especiales características para vivir en ambientes xéricos. Por ejemplo desarrollan tanto procesos fisiológicos como el ajuste osmótico (gruesas cutículas y células epidérmicas de gran volumen para evitar la pérdida de agua).

Otra característica de los *Prosopis* es la gran variedad de ecotipos y biotipos que muestran, bajo unas características morfológicas semejantes, diferentes respuestas fisiológicas.

El objetivo del presente trabajo ha sido analizar los diferentes aspectos de la fisiología de este género, de forma de ir tratando sistemáticamente los principales procesos vitales que han sido estudiados en los últimos años por gran variedad de autores.

## GERMINACIÓN

### ***Efecto de la temperatura***

Las semillas del género *Prosopis*, como la de la mayoría de este tipo de leguminosas, poseen potentes cubiertas seminales que dificultan la germinación de las mismas; a la vez esta cubierta otorga a las semillas gran resistencia para soportar condiciones adversas. Por otra parte, está debidamente comprobado que los resultados de germinación obtenidos en laboratorio pueden ser usados para predecir la germinación a campo (Manga y Sen, 1995).

La temperatura es un factor que afecta el proceso germinativo, de manera que cada especie posee un rango de temperaturas óptimas y temperaturas cardinales a las que la germinación no se verifica. Cony y Trione (1996) (Figura 1), trabajando con semillas de *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis* determinaron como temperaturas óptimas de germinación entre 20 y 25°C y 25 a 40°C para cada una de las especies respectivamente.

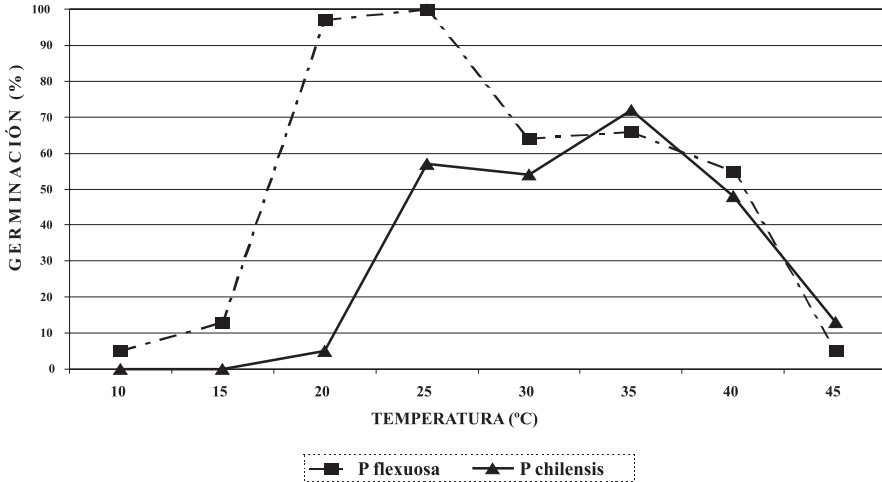


Figura 1. Porcentaje de germinación (%) de *Prosopis flexuosa* y *Prosopis chilensis* en función de la temperatura (Cony y Trione, 1996)

Figure 1. Germination percentage (%) of *Prosopis flexuosa* and *P. chilensis* in function of the temperature (Cony and Trione, 1996)

Es importante destacar que en estas especies la germinación se produce en un amplio espectro de temperaturas que oscilan entre los 25 a los 40°C. Ensayos realizados con *Prosopis glandulosa* y *P. vetulina*, indican que la temperatura óptima para la germinación de estas especies es de 30°C (Sosebee y Wan, 1987).

### **Efecto del potencial agua**

El efecto que la disponibilidad hídrica tiene sobre la germinación fue estudiado por Cony y Trione (1998). Estos autores trabajaron con *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis* a una temperatura de 25°C. En dicho ensayo las semillas germinan aun con potenciales agua de -2,00 MPa, siendo *P. flexuosa* el más resistente (Figura 2).

### **Efecto de la salinidad y del potencial agua**

Considerando los suelos donde crecen las plantas de este género, podemos inferir que éstas deben exhibir una capacidad especial para instalarse en ambientes de alta salinidad y baja disponibilidad hídrica. Los ensayos que a continuación se muestran indican los resultados de germinación frente al efecto combinado de estos factores.

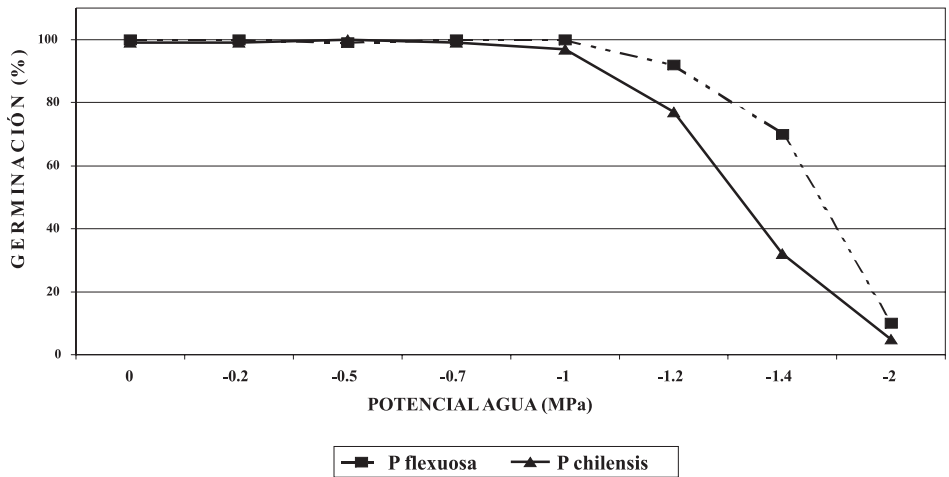


Figura 2. Porcentaje de germinación (%) de *Prosopis flexuosa* y *Prosopis chilensis* en función del potencial agua (Cony y Trione, 1998)

Figure 2. Germination percentage (%) of *Prosopis flexuosa* and *P. chilensis* in function of the water potential (Cony and Trione, 1996)

Bazzaz (1973), trabajando con diferentes procedencias de *Prosopis farcta* nativa de Iraq, encontró que en bajas concentraciones de ClNa y hasta potenciales agua de -0,8 MPa hay aumento del poder germinativo (106 %), pero a mayores concentraciones de sal (-1,8 MPa = 2 % ClNa) se afecta el proceso, pero en forma diferencial según cada procedencia siendo la de Basra la menos afectada (Figura 3). Estos resultados son muy importantes ya que indican una tendencia adaptativa para lograr mayor germinación en ambientes levemente salinos respecto de aquellos no salinos o muy salinizados. Dafni y Negbi (1978) trabajando con diferentes procedencias (de sitios con diferente salinidad de suelos) de la misma especie encontraron que no hay correlación entre la tolerancia a salinidad (medida a través del poder germinativo) y el crecimiento de plántulas con salinidades diferentes en sus hábitats de origen.

Arce *et al.* (1987) trabajaron con *Prosopis alba* y lograron resultados de hasta un 80% de poder germinativo, aun en condiciones de gran estrés hídrico equivalente a -3,0 MPa.

Semillas de *Prosopis strombulifera*, provenientes de diferentes localidades con suelos con salinidad creciente, demostraron un mayor poder germinativo en la medida que las mismas provinieran de zonas salinas (Lopez Villagra y Galera, 1992).

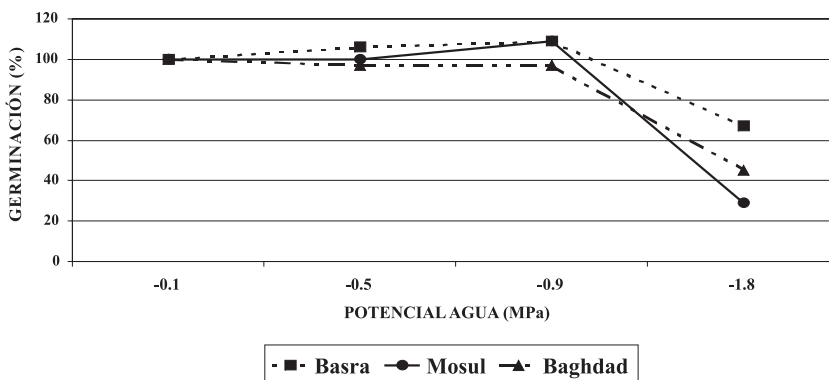


Figura 3. Porcentaje de germinación (%) respecto del testigo de semillas escarificadas de tres procedencias de *Prosopis farcta* sometidas a distintas concentraciones de NaCl (Bazzaz, 1973)

Figure 3. Germination percentage (%) of scarified seeds from three procedences of *Prosopis farcta* under different CLNa concentrations (Bazzaz, 1973), respecting samples of scarified seeds

El efecto tóxico de las sales sódicas fue verificado por Perez y Tambelini (1995), que realizaron ensayos de germinación bajo diferentes potenciales agua, generados por  $\text{ClNa}$ ,  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4\text{Na}_2$  y manitol. Los tratamientos cubrían un espectro de potenciales agua desde 0 a  $-1,5$  MPa y en todos los casos la presencia de sodio afectó en mayor porcentaje la germinación, producto seguramente de su acción tóxica sobre las membranas celulares.

Cony y Trione (1998) observaron la germinación de *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis* de seis diferentes procedencias (Chilecito, Lamadrid y Chamental–La Rioja–, Tinogasta–Catamarca–, Mogna–San Juan– y Algarrobo del Águila y Limay Mahuida–La Pampa–) frente a tratamientos de salinidad provocada por soluciones de  $\text{ClNa}$  y del déficit hídrico con polietilén glicol (PEG); el ensayo demostró que *P. flexuosa* posee mayor resistencia a altas concentraciones de sal y bajos potenciales agua, en tanto de *P. chilensis* demostró mayor variabilidad entre las diferentes procedencias (Tabla 1).

Scifres y Brock (1969) realizaron ensayos de germinación para evidenciar la interacción entre temperatura y potencial agua. Los resultados indican que a mayores temperaturas el estrés hídrico afecta en mayor grado. En otro trabajo realizado en 1971, los mismos autores encontraron que a las temperaturas óptimas el proceso germinativo necesitaba menos tiempo y a veces tres veces menos disponibilidad hídrica.

Villagra (1998) midió la tolerancia a salinidad y a la hipoxia en *Prosopis alpataco* y *P. argentina*. Estas dos especies crecen en la misma zona (Lavalle, Mendoza) pero ocupan nichos diferentes, mientras el primero ocupa terrenos bajos de suelos pesados

y periódicamente anegados el segundo se ubica en médanos que nunca son inundados y de textura arenosa. El ensayo encontró una mayor resistencia de *P. alpataco* para soportar salinidad (Figura 4). Los ensayos de anegamiento se realizaron en 20 mm de agua destilada y los resultados indican que también *P. alpataco* es el más tolerante, ya

Tabla 1. Efecto de la salinidad y del estrés hídrico (-1,4 mpa) en la germinación (%) de *Prosopis* spp. (Cony y Trione, 1998)

Table 1. Salinity and hidrical stress effect (-1.4 mpa) on the germination of *Prosopis* spp. (Cony and Trione, 1998)

| PROCEDENCIAS | NaCl               |                     | PEG                |                     |
|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|              | <i>P. flexuosa</i> | <i>P. chilensis</i> | <i>P. flexuosa</i> | <i>P. chilensis</i> |
| LAMA         | 70,1 A             | 30,9 A              | 71,1 A             | 23,5 A              |
| TINO         | 42 BC              | 39,7 A              | 46 BC              | 18 A                |
| MOG          | 46,8 BC            | 33,6 A              | 37,5 BC            | 17,9 A              |
| CHAM         | 65,9 AB            | -                   | 52,1 AB            | -                   |
| AALM         | 35,7 C             | -                   | 30,9 C             | -                   |
| CHIL         | -                  | 46,7 A              | -                  | 15,2 A              |

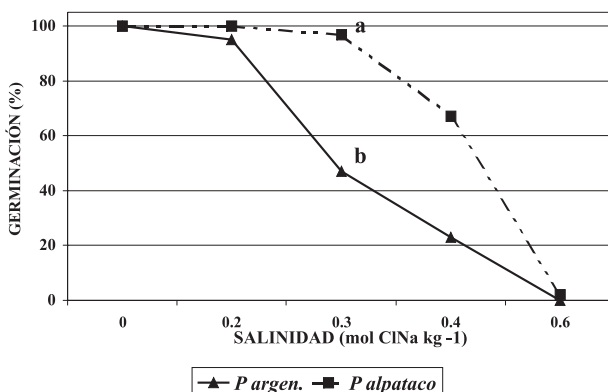


Figura 4. Efecto de la salinidad sobre la germinación de *Prosopis argentina* y *Prosopis alpataco* (Villagra, 1998)

Figure 4. Salinity effect on germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Villagra, 1998)

que logra en estas condiciones un poder germinativo del 82 % (Tabla 2). Ambos resultados indican que esta especie tiene una fuerte adaptación al hábitat que ocupa, logrando por esta razón una fuerte presencia y caracterizando fisonómicamente los lugares donde habita.

Tabla 2. Efecto del anegamiento en la germinación de *Prosopis argentina* y *P. alpataco*

Table 2. Flooding effect on germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco*

| PARÁMETRO       | <i>Prosopis argentina</i> |         | <i>Prosopis alpataco</i> |         |
|-----------------|---------------------------|---------|--------------------------|---------|
|                 | TESTIGO                   | ANEGADO | TESTIGO                  | ANEGADO |
| GERMINACIÓN (%) | 91 ab                     | 7 c     | 99 a                     | 82 b    |

### **Interacción entre germinación-salinidad y sobrevivencia**

Catalán *et al.* (1994) trabajaron con *Prosopis flexuosa*, sometidos a estrés salino e hídrico durante la etapa germinativa, y encontraron que a medida que la salinidad va en aumento el poder germinativo decrece hasta el extremo de soluciones 0,8 M de ClNa en las que no se verificó germinación alguna. Pero al medir la sobrevivencia de plántulas de 20 días crecidas en iguales soluciones, verificaron que éstas crecen bien y mantienen alta sobrevivencia (96%). Esta capacidad adaptativa puede basarse en mecanismos de exclusión de iones a nivel radical, como fue comprobado por García Carreño *et al.* (1992).

Arce y Balboa (1990) realizaron ensayos con plántulas de 5 días de *P. chilensis*, *P. alpataco* y *P. tamarugo* sometidas a soluciones del 4% de ClNa y encontraron un 61% de sobrevivencia. Los tratamientos que sometieron las plántulas a agua de mar tuvieron un 100% de supervivencia, y aquellos tratamientos con soluciones del 1% de ClNa crecieron más que el testigo. Resultados semejantes de tolerancia fueron determinados en *Prosopis articulata*, *P. pallida* y *P. tamarugo* por Felker *et al.* (1981). En *Prosopis chilensis* se encontró una baja acumulación de Na<sup>+</sup> a nivel de planta entera, que aparece confinado principalmente a nivel de raíz (Zhao y Harris, 1992).

### **Efecto de la escarificación**

La falta de germinación en algunos casos puede deberse a problemas de inhibición de este proceso por elevados contenidos en el embrión de ácido abscísico ABA, lo que establece una endodormición o inhibición de la germinación por factores no endógenos como pueden ser la presencia de fuertes cubiertas seminales, que imponen una poderosa barrera, principalmente a la entrada de agua, en estos casos llamada ecodormición. Para eliminar los efectos de la primera, las semillas se someten a

tratamientos de estratificación que, mediante frío y evitando la excesiva deshidratación, elimina al ABA; en el segundo caso se recurre a la escarificación, que consiste en dañar por medios mecánicos, físicos o químicos la cubierta seminal y permitir de esta manera el ingreso de agua .

Para *Prosopis flexuosa*, escarificaciones mediante el simple lijado de las semillas han producido excelentes resultados (Cony, com. per.).

Catalán y Macchiavelli (1991) sometieron semillas de *Prosopis alba* y *P. flexuosa* a tratamientos con agua caliente a razón de un gramo de semilla por cada 100 ml de agua caliente; en este caso los mejores resultados se lograron con agua a 80°C (Figura 5).

Dentro de la familia de las leguminosas encontramos una gran variedad de plantas que son buenas forrajeras; en estos vegetales la repoblación natural mediante las heces de los animales es de gran importancia. Peinetti *et al.* (1993) trabajó con *Prosopis caldenia* y encontró que el paso de las semillas a través del tracto digestivo de bovinos aumentaba el poder germinativo de las semillas no dañadas, y que estas semillas no necesitan luz (fotoblásticas negativas) para germinar. Resultados semejante fueron obtenidos por Scifres y Brock (1969) y por Campos y Ojeda (1997). Ibañez y Passera (1997), trabajando con semillas de albaida (*Anthyllis cytisoides*), arbusto leguminoso del sureste español, encontraron que la escarificación por acción de los jugos gástricos

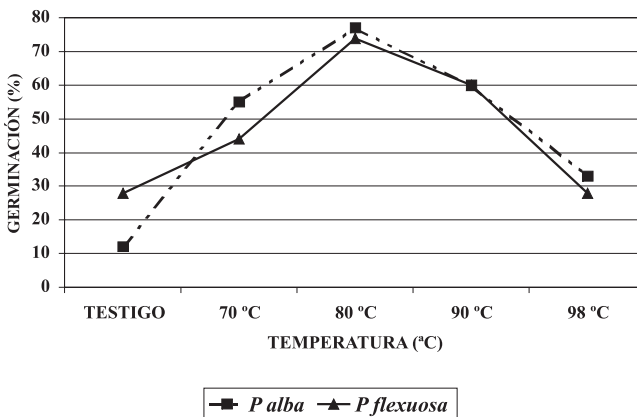


Figura 5. Efecto de la escarificación (agua caliente) sobre la germinación de *Prosopis* spp. (Catalán y Macchiavelli, 1991)

Figure 5. Scarification (hot water) effect on germination of *Prosopis* spp. (Catalán and Macchiavelli, 1991)

de ovejas durante 24, 48 y 72 hs tenían acción diferencial en el poder germinativo. Los mejores resultados se obtuvieron sometiendo las semillas durante 24 hs a la acción escarificante de los jugos gástricos, pero tratamientos más prolongados perjudican el poder germinativo al extremo de que con 72 hs se logra menor germinación que en el lote testigo (Figura 6).

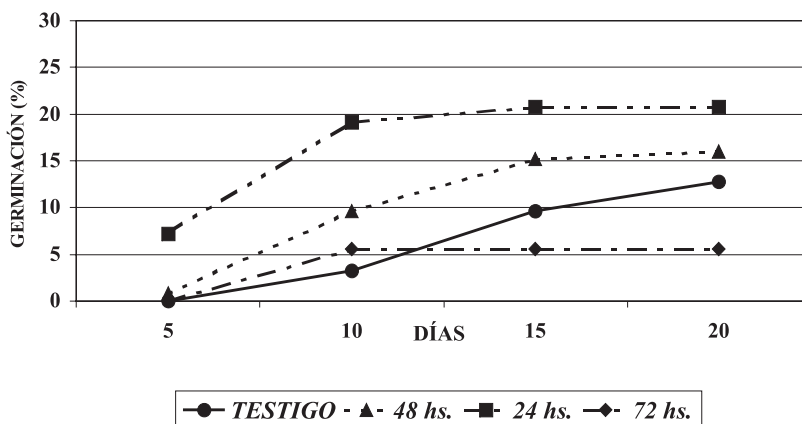


Figura 6. Efecto de la escarificación con licor ruminal sobre la germinación de *Anthyllis cytisoides* (Ibañez y Passera, 1997)

Figure 6. Scarification effect with ruminal liquor on germination of *Anthyllis cytisoides* (Ibañez and Passera, 1997)

## Enraizamiento de estacas

La multiplicación asexual de los vegetales tiene un gran número de ventajas a la hora de propagar individuos selectos de los cuales no queremos perder sus características especiales. Por otra parte, si la técnica de clonación es exitosa permite obtener gran número de plantas en corto tiempo y a bajo costo. Naturalmente hay especies como algunos álamos que son de fácil enraizamiento, pero en otros casos es necesario recurrir a tratamientos especiales para lograr éxito. Las hormonas vegetales involucradas en la rizogénesis son principalmente las auxinas, dentro de las cuales las más usadas son el ácido indol acético e indol butírico (AIA e IBA) o algunas de síntesis química como el ácido naftalén acético (ANA). En el caso del género *Prosopis*, cuyos representantes son en su gran mayoría de fecundación cruzada obligada, se hace difícil conservar características selectas mediante la reproducción sexual debido a la segregación de caracteres.

Por otra parte los resultados obtenidos hasta la fecha de la multiplicación de ejemplares maduros mediante la técnica de cultivo “in vitro” son poco exitosos, existen



buenos resultados a partir de materiales juveniles, como por ejemplo la micropropagación de material proveniente de plántulas germinantes, pero en estos casos no se sabe la calidad forestal del individuo propagado.

Felker y Clark (1981) trabajaron con varias especies de *Prosopis* y mediante el tratamiento con soluciones de IBA en concentraciones de 6000 ppm en plántulas de 1 año y usando estacas foliosas de dos nudos en cámaras con y sin humedad, logró excelentes resultados de enraizamiento. Arce y Balboa (1987), trabajaron con estacas provenientes de plantas de *P. chilensis* de 4 a 12 meses, tratadas con soluciones de IBA 100 ppm a temperaturas de 28-31°C y 200 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de luz. En estos casos logró un 80 % de enraizamiento (Tabla 3). Otros ensayos realizados por estos mismos autores con material proveniente de árboles adultos sólo logró un 9 % de enraizamiento, pero trabajando con los rebrotes de estas plantas el resultado fue de 80 % .

Tabla 3. Enraizamiento de estacas

Table 3. Stakes rooting

|  | » FELKER & CLARK, 1981* | ARCE & BALBOA 1987+ |
|--|-------------------------|---------------------|
| • <i>Prosopis alba</i>                                   | 80 %                    |                     |
| • <i>Prosopis chilensis</i>                              | 90 %                    | 80 %                |
| • <i>Prosopis articulata</i>                             | 100 %                   |                     |
| • <i>Prosopis glandulosa</i>                             | 90 %                    |                     |
| • <i>Prosopis palida</i>                                 | 90 %                    |                     |
| • <i>Prosopis vetulina</i>                               | 70 %                    |                     |
| • * - IBA 6000 ppm, ANA 9000 ppm, plántulas de 1 año.    |                         |                     |
| • + - IBA 100 ppm, plántulas de 412 meses.               |                         |                     |
| • Material adulto 9 %. rebrotes de material adulto 80 %. |                         |                     |

## Crecimiento

El mundo vegetal puede clasificarse en grupos de acuerdo a la forma y mecanismos que utiliza para fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico. Los principales tipos fotosintéticos son el C3, C4 y CAM (metabolismo ácido crasuláceo). En la Tabla 4 pueden observarse las principales características de cada grupo. El género *Prosopis* pertenece al tipo C3 y de acuerdo a las características generales de este grupo podemos ver que posee menor eficiencia en el uso de agua, presenta fotorrespiración, la fotosíntesis neta y la producción de materia seca es inferior a las C4. A pesar de ello podremos ver que los *Prosopis* constituyen un grupo especial dentro de las C3 con características fisiológicas que los hacen parecer a las C4. Son especiales pues poseen alta eficiencia fotosintética, Sosebee y Wan (1987) citan para *Prosopis glandulosa* valores de intercambio neto de carbono (INC) de 30-32 mg CO<sub>2</sub> dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, que luego de una abundante lluvia de verano

Tabla 4. Principales características de las plantas C3, C4 y CAM

Table 4. Principal characteristics of C3, C4 and CAM plants

| CARACTERÍSTICA   | C3              | C4                         | CAM                        |
|--|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| ANATOMÍA FOLIAR  | Sin vaina Kranz | Con vaina Kranz            | Sin vaina Kranz            |
| PRINCIPAL ENZIMA   | RUBISCO         | PEP carboxilasa<br>RUBISCO | PEP carboxilasa<br>RUBISCO |
| EFICIENCIA DE USO DEL AGUA (g H <sub>2</sub> O g MS <sup>-1</sup> )      | 450 - 900       | 250 - 350                  | 50 - 55                    |
| FOTORESPIRACIÓN  | SI              | NO                         | SI                         |
| TEMPERATURA ÓPTIMA PARA FIJAR CO <sub>2</sub>                            | 15 a 25 °C      | 25 a 45 °C                 | Aprox. 35 °C               |
| FOTOSÍNT. NETA MAX. (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> ) | 15 - 40         | 40 - 80                    | 1 - 4                      |
| PRODUCCIÓN MS (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )                    | 22 ± 3,3        | 38,6 ± 16,9                | ---                        |

ascendió a 41,2 mg CO<sub>2</sub> dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, Estos valores son mayores que los determinados en cualquier arbusto y se puede deber al alto contenido de proteínas foliares, que indicarían una gran riqueza de la enzima ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa-oxigenasa (RUBISCO) a nivel de parénquima clorofiliano. Otra característica es la amplia exploración edáfica que logra su extendido sistema radical, aspecto que favorece la competencia con otras plantas, incluso las C4 (Cavagnaro y Passera, 1993; Bush y Van Auken, 1991). Algunas especies como *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* es muy tolerante a la salinidad y puede extraer agua de suelos con salinidades que exceden los 28 dS m<sup>-1</sup> (medida en extracto a saturación) (Jarrel y Virginia, 1990).

El crecimiento anual del diámetro del tronco varía según la especie y los tratamientos; Patch y Felker (1997a) determinaron un crecimiento de hasta 1,21 cm/año<sup>-1</sup> para *Prosopis glandulosa*, crecimiento semejante a los de otros árboles productores de maderas duras (Patch y Felker, 1997b).

### **Efecto de la irradiancia**

Vilela y Ravetta (2000) estudiaron el efecto de la irradiancia en la producción de biomasa de cuatro algarrobos diferentes. En todos los casos se determinó que la producción de materia seca aumenta a medida que aumenta la disponibilidad de luz (Figura 7). Esto se debe seguramente al hecho de que no se verifica saturación lumínica hasta irradiancias de 1780 mE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, en tanto que la generalidad de las C3 saturan a valores mucho más bajos (700 a 1000 mE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). La alta necesidad de luz fue

confirmada en ensayos realizados con *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis* en cámaras de crecimiento del IADIZA, donde las plantas se ahilaron y etilaron cuando crecían con irradiancias de  $200 \text{ mE m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Cavagnaro, com. per.)

El INC tiene una alta correlación con la conductancia estomática (CE) a lo largo de un día. La Figura 8 muestra los valores de ambos parámetros medidos en *Prosopis glandulosa* cuando vegeta en suelos con alto déficit hídrico (Sosebee y Wan, 1987), a las 14 h se verifica una caída en la conductancia debida a un cierre estomático de medio día, causado seguramente por el desbalance producido por el alto estrés, estos datos sugieren que estas plantas realizan INC en la mañana temprano cuando el balance hídrico aún es favorable.

El INC depende más del contenido hídrico del suelo (CH%) que del potencial agua xilemático determinado preamanecer. En general se verifica un mejor comportamiento en suelos arcillosos que en arenosos y se hace un mejor aprovechamiento del agua superficial que de la profunda. La pérdida de agua diaria de árboles de 30 cm de diámetro y más de 5 m de altura de *Prosopis glandulosa* var *glandulosa* fue medida por Ansley *et al.* (1991) y oscila entre 30 y 75 litros por día: esta gran variabilidad, demuestra que la pérdida de agua de estas plantas es regida por diversos mecanismos que les permiten regular la transpiración a nivel superficial. Las temperaturas atmosféricas óptimas para un buen INC son de  $27$  a  $31 \text{ }^\circ\text{C}$ , y de  $29 \text{ }^\circ\text{C}$  a nivel edáfico. En otoño

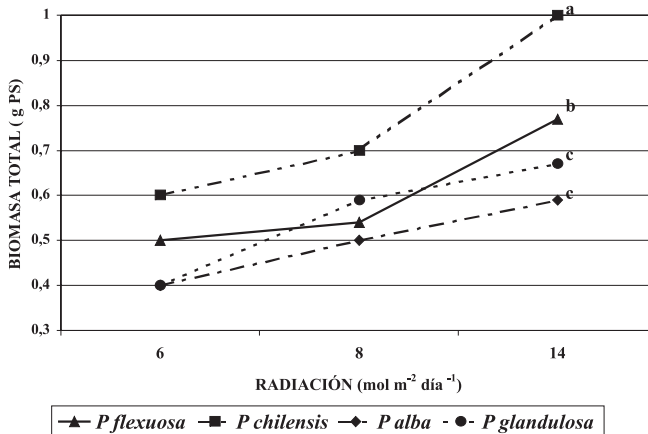


Figura 7. Peso seco total de plantas de 60 días de edad de *Prosopis flexuosa*, *P. alba*, *P. chilensis* y *P. glandulosa* (Vilela y Ravetta, 2000)

Figure 7. Total dry matter of 60 days old plants of *Prosopis flexuosa*, *P. alba*, *P. chilensis* and *P. glandulosa* (Vilela and Ravetta, 2000)

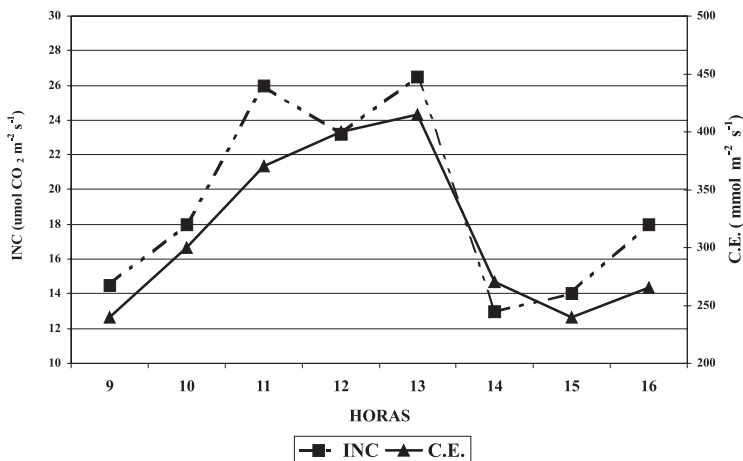


Figura 8. Fotosíntesis neta (INC) y conductancia estomática (C.E.) de *Prosopis glandulosa* en condiciones de buena disponibilidad hídrica (Sosebee y Wan, 1987)

Figure 8. Net photosynthesis (INC) and stomatal conductance (CE) of *Prosopis glandulosa* in good hydric conditions (Sosebee and Wan, 1987)

se ha determinado que el máximo INC se produce cuando las temperaturas medias oscilan entre 14 y 18 °C; esta aclimatación a bajas temperaturas les da ventajas competitivas, ya que cada día inician crecimiento antes y terminan después que las C4.

Como se expuso más arriba, los algarrobos presentan fotorrespiración; normalmente a campo tienen de un 30 a un 40% de fotorrespiración (Bjorkman, 1966). Cuando disminuye la concentración de oxígeno a 2% la fotorrespiración se hace cero. En sequía a las horas que la irradiancia es máxima y por ello la temperatura también, la fotosíntesis neta (FN) que es lo mismo que el INC puede llegar a ser cero, es decir que la fotorrespiración se hace igual a la fotosíntesis bruta (Sosebee y Wan, 1987) (Figuras 9 y 10).

Estos resultados llevaron a hipotetizar que el INC se hace cero cuando la temperatura foliar es máxima, aspectos demostrados en *Prosopis glandulosa* por Sosebee y Wan (1987) (Figura 11).

Hay una correlación inversa entre la conductancia estomática (CE) y el potencial agua de la planta (Sosebee y Wan, 1987; Ansley *et al.*, 1992) (Figura 12). Los datos obtenidos por los primeros sugieren que en pleno verano las plantas de *Prosopis glandulosa* sólo activan su fotosíntesis en horas de la mañana y queda inactiva en la

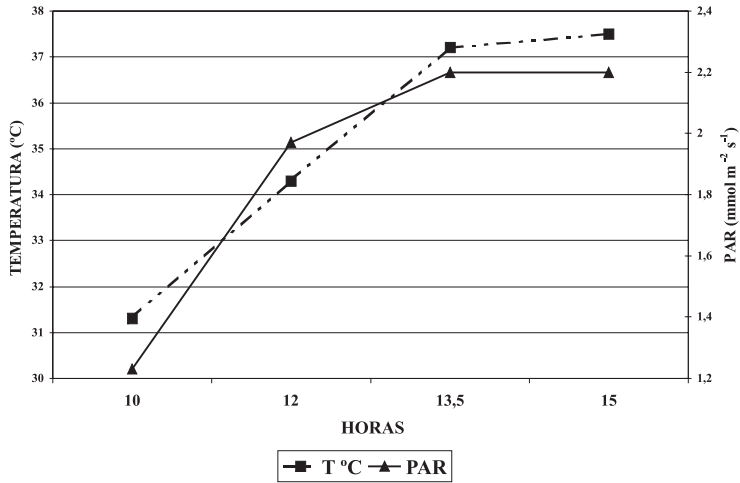


Figura 9. Temperatura y luz fotosintéticamente activa (par) (Sosebee y Wan, 1987)  
 Figure 9. Temperature and photosynthetically active light (par) (Sosebee and Wan, 1987)

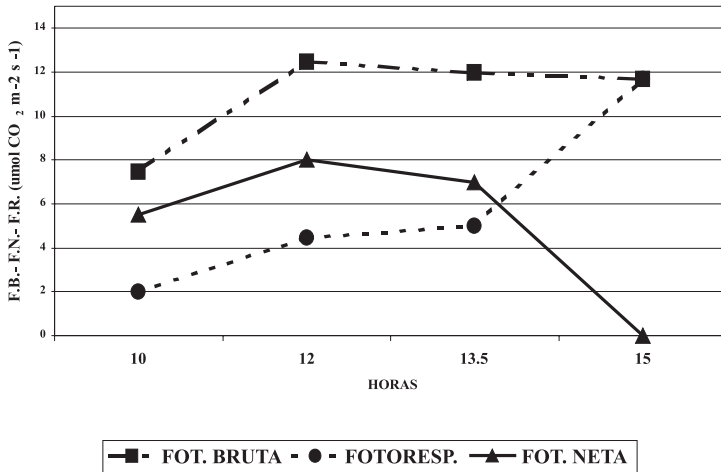


Figura 10. Fotosíntesis bruta, f. neta y fotorrespiración de *Prosopis glandulosa* en función de la temperatura y el par (Sosebee y Wan, 1987)  
 Figure 10. Gross and net photosynthesis and photorespiration of *Prosopis glandulosa* in function of the temperature and par (Sosebee and Wan, 1987)

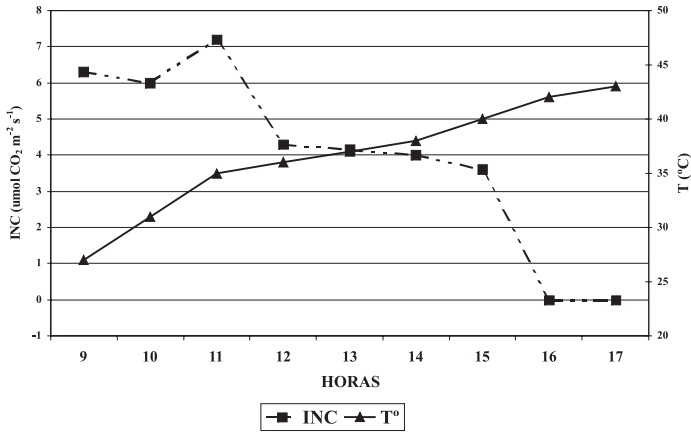


Figura 11. Fotosíntesis neta (INC) de *Prosopis glandulosa* en función de la temperatura foliar (Sosebee y Wan, 1987)

Figure 11. Net photosynthesis (INC) of *Prosopis glandulosa* in function of the leaf temperature (Sosebee and Wan, 1987)

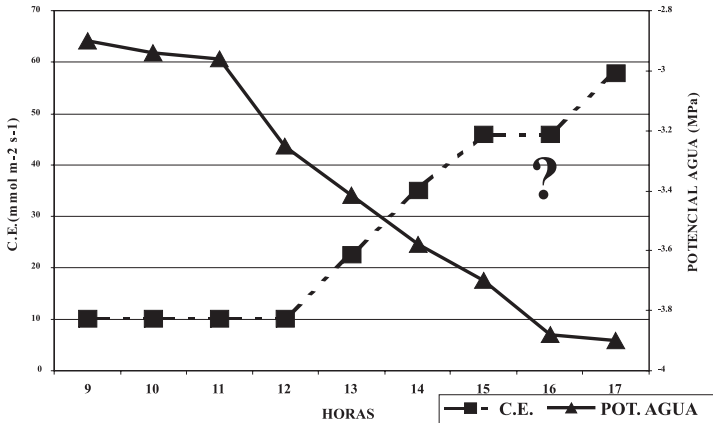


Figura 12. Conductancia estomática (C.E.) y potencial agua de *Prosopis glandulosa* en condiciones de sequía (Sosebee y Wan, 1987)

Figure 12. Stomatal conductancy (CE and water potential of *Prosopis glandulosa* under drought (Sosebee and Wan, 1987)

tarde. Los valores de conductancia estomática se correlacionan bien con los valores de potencial agua del suelo, pero llamativamente no hay correlación con los valores de potencial agua xilemático de la misma planta.

Cavagnaro y Passera (1993), trabajando en una comunidad de *Prosopis flexuosa*, verificaron a lo largo de todo un ciclo vegetativo que los algarrobos mantenían potenciales agua muy superiores a los determinados en un arbusto (*Atriplex lampa*) que vegetaba en el mismo ambiente (Tabla 5), e incluso a las gramíneas presentes (datos no mostrados).

Los valores de potencial agua de preamanecer indican que estos árboles mantienen una gran independencia hídrica respecto de las precipitaciones, de esta manera mantienen altos potenciales de turgencia +1,82 MPa, lo que les permite mantener el crecimiento (Figura 13). A similar resultado llegaron Montaña *et al.* (1995), trabajando en el desierto de Chihuahua, donde verificaron que *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata* presentaban potenciales agua de preamanecer independientes del agua existente en las capas superficiales del suelo. El uso de agua ubicada en diferentes niveles del suelo, a fin de mantener la turgencia, es mencionado por Reynolds *et al.* (1999), pero en este análisis debe tenerse en cuenta que las capas superficiales del suelo (0-30 cm) están usualmente con potenciales agua inferiores a -1,5 MPa (Wan y Sosebee, 1991). Este comportamiento confirma la condición freatófita de esta especie, pero a su vez despierta muchas incógnitas, debido a que en el lugar donde se realizó el estudio de la Figura 13 (Ñacuñán, Mendoza), el agua freática (verificada) más cercana

Tabla 5. Potenciales agua determinados en preamanecer de *Prosopis flexuosa* y *Atriplex lampa* en diferentes fechas en Ñacuñán (Cavagnaro y Passera, 1993)

Table 5. Water potential determined in pre-sunrise for *Prosopis flexuosa* and *Artriplex lampa*, in different dates in Ñacuñán (Cavagnaro and Passera, 1993)

| FECHAS        | Potencial Agua en MPa    |                       |
|---------------|--------------------------|-----------------------|
|               | <i>Prosopis flexuosa</i> | <i>Atriplex lampa</i> |
| 17 /XI/ 1987  | -0,77                    | -2,35                 |
| 12 /XII/ 1987 | -1,12                    | -5,25                 |
| 8 /I/ 1988    | -1,22                    | -1,86                 |
| 4 /II/ 1988   | -1,33                    | -4,76                 |
| 6 /IV/ 1988   | -1,24                    | -4,59                 |

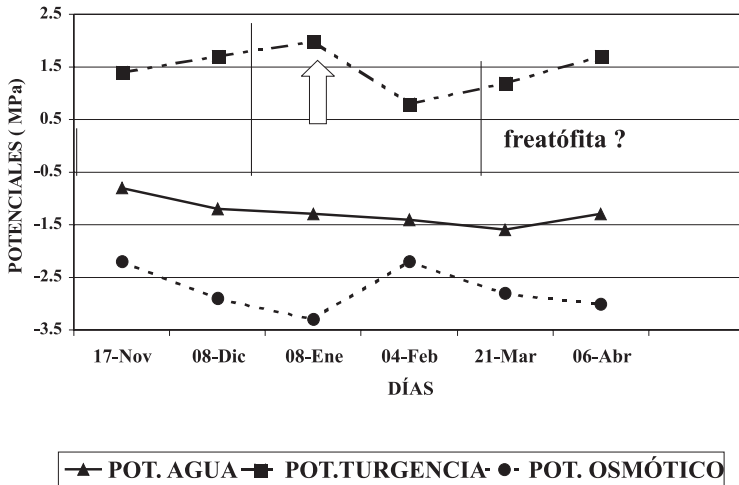


Figura 13. Potencial agua, potencial osmótico y potencial de turgencia en *Prosopis flexuosa* medidos antes del amanecer, en Ñacuñán (Cavagnaro y Passera, 1993)

Figure 13. Water potential, osmotic potential and turgency potential in *Prosopis flexuosa* recorded before sunrise in Ñacuñán (Cavagnaro and Passera, 1993)

a la superficie está a una profundidad de alrededor de 70 metros. Stromberg *et al.* (1992) encontraron que *Prosopis vetulina* era sometida a severo estrés cuando el agua freática declinaba a 18-30 metros de profundidad. Si realmente *Prosopis flexuosa* en Ñacuñán, depende de esta agua, tiene entonces que desarrollar grandes succiones para poder acceder a ella.

Dentro del mismo ensayo, se encontró que solamente en una oportunidad (el 4 de febrero) el potencial de turgencia llegó a cero, logrando en todas estas fechas muy bajos potenciales osmóticos (-3,00 MPa) que sugieren mecanismos de ajuste osmótico (Figura 14).

### **Efecto de la fertilización carbónica**

Las altas tasas de fotorrespiración determinadas en algunos algarrobos indican que éstos pueden tener respuestas favorables a la fertilización carbónica. Polley *et al.* (1999) realizaron un ensayo con *Prosopis glandulosa*, sometiendo plantas a concentraciones de 370 y 700 ppm de CO<sub>2</sub>, para ver su efecto en el crecimiento y sobrevivencia de éstas. Los resultados encontrados indican que a mayor disponibilidad de anhídrido



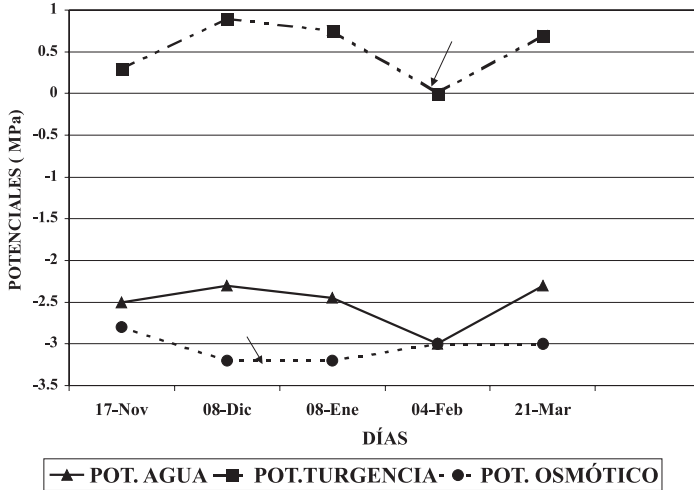


Figura 14. Potencial agua, potencial osmótico y potencial de turgencia en *Prosopis flexuosa* medidos a la tarde, en Ñacuñán (Cavagnaro y Passera, 1993)

Figure 14. Water potential, osmotic potential and turgency potential in *Prosopis flexuosa* recorded at evening in Ñacuñán (Cavagnaro and Passera, 1993)

carbónico, se obtienen mayor biomasa, altura y potenciales agua, logrando duplicar la sobrevivencia de plántulas (Tabla 6). Estos resultados fueron reconfirmados trabajando con cuatro biotipos del mismo algarrobo luego de 82 días sin riego (Figura 15).

### **Efecto del tipo de suelo**

Villagra (1998) trabajó con *Prosopis alpataco* y *P. argentina*. Para el ensayo de su tesis doctoral elaboró (entre otras) la siguiente hipótesis de trabajo: “el establecimiento y crecimiento de estas plantas depende del tipo de suelo, del estrés hídrico, la salinidad y el anegamiento”. En un primer ensayo pudo determinar que la emergencia de las plántulas depende de la especie, pero la biomasa depende del tipo de suelo (Tabla 7).

Los ensayos para verificar el efecto de la disponibilidad hídrica y el tipo de suelo en el crecimiento indican que a mayor disponibilidad de agua mayor crecimiento y que los tratamientos con arcilla obtienen mayor crecimiento que los con arena (Tabla 8).

En general puede observarse que *Prosopis argentina* tolera más el estrés hídrico que *P. alpataco*.

Tabla 6. Efecto de la fertilización carbónica en el crecimiento y sobrevivencia de *Prosopis glandulosa* (Polley *et al.*, 1999)

Table 6. Carbonic fertilization effect in growth and survival of *Prosopis glandulosa* (Polley *et al.*, 1999)

| PARÁMETRO                      | FERTILIZACIÓN CARBÓNICA |         |
|--------------------------------|-------------------------|---------|
|                                | 370 ppm<br>TESTIGO      | 700 ppm |
| BIOMASA RADICAL (g)            | 0,194                   | 0,248   |
| BIOMASA DE VÁSTAGO (g)         | 0.093                   | 0,142   |
| ALTURA DE VÁSTAGO (cm)         | 5,86                    | 8,30    |
| POTENCIAL AGUA (XIL.) (MPa)    | -2,33                   | -1,92   |
| SOBREVIVENCIA DE PLÁNTULAS (%) | 47,6                    | 87,8    |

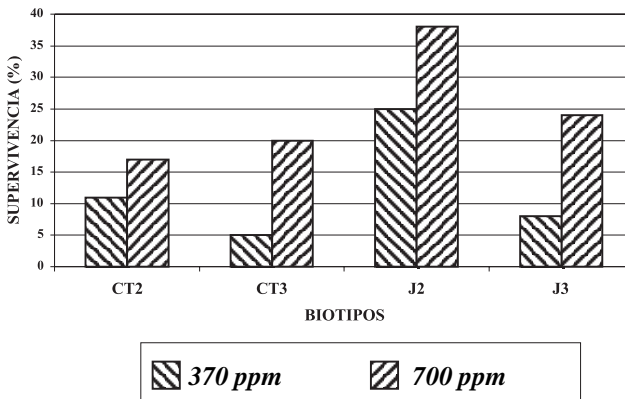


Figura 15. Porcentaje de supervivencia de biotipos de *Prosopis glandulosa* en función de la fertilización carbónica y estrés hídrico (Polley *et al.*, 1999)

Figure 15. Survival percentage of biotypes of *Prosopis glandulosa* in function of the carbonic fertilization and hydric stress (Polley *et al.*, 1999)

Tabla 7. Efecto del tipo de suelo en la emergencia y crecimiento de plántulas de *Prosopis argentina* y *P. alpataco* (Villagra, 1998)

Table 7. Soil type effect on emergency and growth of small plants of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Villagra, 1998)

| PARÁMETRO          | <i>Prosopis argentina</i> |          | <i>Prosopis alpataco</i> |          |
|--------------------|---------------------------|----------|--------------------------|----------|
|                    | ARENA                     | ARCILLA  | ARENA                    | ARCILLA  |
| EMERGENCIA (%)     | 60,71 b                   | 48,21 b  | 69,04 a                  | 68,45 a  |
| BIOMASA TOTAL (mg) | 465,2 c                   | 1995,9 b | 244,5 c                  | 5623,4 a |

Tabla 8. Efecto del nivel de riego y tipo de suelo en la biomasa total y área foliar de *Prosopis argentina* y *P. alpataco* (Villagra, 1998)

Table 8. Irrigation level and soil type effect on total biomass and leaf area of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Villagra, 1998)

| SUELO                                       | <i>Prosopis argentina</i> |           |             |           | <i>Prosopis alpataco</i> |         |             |         |
|---|---------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------------------|---------|-------------|---------|
|   | ARENA                     |           | ARCILLA     |           | ARENA                    |         | ARCILLA     |         |
| RIEGO (mm)                                  | 1400                      | 350       | <u>1400</u> | 350       | 1400                     | 350     | <u>1400</u> | 350     |
| BIOMASA TOTAL DE PLÁNTUL. (mg)              | 465,2 d                   | 428,2 d e | 1996 b      | 635,6 c d | 244,5 e f                | 246,6 f | 5623,4 a    | 840,8 c |
| ÁREA FOLIAR DE PLÁNTULAS (cm <sup>2</sup> ) | 5,8 c                     | 5,2 c     | 34,3 b      | 8,12 c    | 4,4 c                    | 6,5 c   | 165,3 a     | 19,6 b  |
| BIOMASA TOTAL PLANT. DE 1 AÑO (mg)          | 5322,1                    | 3522,4    | 16921,8     | 8006,8    | 10060,9                  | 2526,7  | 27503,2     | 16153   |

### **Efecto de la salinidad**

Villagra (1998) realizó tratamientos de salinidad con soluciones 0,2 M de ClNa; en dicho ensayo encontró que *Prosopis argentina* es más afectado de *P. alpataco*, tanto en los valores de germinación (datos no mostrados), como en los de crecimiento de plántulas de 100 días (Tabla 9).

Jarrel y Virginia (1990) verificaron el efecto de la salinidad en la eficiencia en el uso del agua (EUA) y en el crecimiento, trabajando con *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*. Los resultados obtenidos indican que a mayor salinidad menor crecimiento y menor eficiencia en el uso de agua, con caídas en los contenidos de nitrógeno y fósforo (Tabla 10). Resultados semejantes fueron obtenidos por Felker *et al.* (1981)

Tabla 9. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento de plántulas de 100 días de *Prosopis argentina* y *P. alpataco* (Villagra, 1998)

Table 9. Salinity effect on growing of 100 day plants of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Villagra, 1998)

| PARÁMETRO          | <i>Prosopis argentina</i> |       |         |       | <i>Prosopis alpataco</i> |       |         |        |
|--------------------|---------------------------|-------|---------|-------|--------------------------|-------|---------|--------|
|                    | ARENA                     |       | ARCILLA |       | ARENA                    |       | ARCILLA |        |
| SALINIDAD (M NaCl) | 0                         | 0,2   | 0       | 0,2   | 0                        | 0,2   | 0       | 0,2    |
| BIOMASA TOTAL (mg) | 465,2                     | 192,4 | 1996    | 723,6 | 244,5                    | 122,3 | 5623,4  | 1296,7 |

Tabla. 10. Efecto de la salinidad en el crecimiento y eficiencia en el uso de agua de *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* (Jarrell y Virginia, 1990)

Table 10. Salinity effect on growth and water use efficiency of *Prosopis glandulosa* var. *tomentosa* var. *torreyana* (Jarell and Virginia, 1990)

| SALINIDAD (dS m <sup>-1</sup> ) | BIOMASA TOTAL (g/planta) | EFICIENCIA USO AGUA (g PS/L) | FÓSFORO (mg/planta) | NITRÓGENO (mg/planta) |
|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1,4                             | 347                      | 2,04                         | 238,2               | 904                   |
| 2,8                             | 278                      | 1,98                         | 211,6               | 939                   |
| 5,6                             | 156                      | 1,92                         | 156,7               | 487                   |

## Efecto del anegamiento

Dentro de los ensayos con *Prosopis alpataco* y *P. argentina*, Villagra (1998) sometió plantas de ambas especies a anegamiento, los resultados indican que *P. alpataco*, tiene mayor tolerancia al anegamiento logrando mayor crecimiento y biomasa total (Tabla 11).

Tabla 11. Efecto del anegamiento en el crecimiento de *Prosopis argentina* y *P. alpataco* (Villagra, 1998)  
Table 11. Flooding effect on growth of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Villagra, 1998)

| PARÁMETRO          | <i>Prosopis argentina</i> |         | <i>Prosopis alpataco</i> |          |
|--------------------|---------------------------|---------|--------------------------|----------|
|                    | TESTIGO                   | ANEGADO | TESTIGO                  | ANEGADO  |
| BIOMASA TOTAL (mg) | 328,4 b                   | 313,9 b | 718,9 a                  | 1140,1 a |
| CRECIMIENTO (cm)   | 132,1 b                   | 135,3 b | 181,1 b                  | 240,6 a  |

## PARTICIÓN DE FOTOASIMILADOS

La partición de fotoasimilados es un proceso a través del cual los vegetales pueden llevar esqueletos carbonados (generalmente sacarosa), desde las fuentes productoras a los destinos donde son utilizados. Las fuentes son generalmente las hojas, que por fotosíntesis fijan la energía electromagnética de la luz en forma de energía de enlace en los compuestos sintetizados. Otros órganos fuente son las semillas en la germinación, hasta que la nueva plántula pasa el punto de compensación. También son fuentes los tubérculos que brotan para reiniciar algún cultivo como el de la papa. Los destinos son todas aquellas partes de la planta que estando en activo crecimiento necesitan de compuestos para mantener sus procesos vitales. Son destinos clásicos los frutos, pero también son destinos las raíces, las hojas jóvenes (hasta un 40% de expansión) y los ápices en crecimiento. La magnitud con que los fotosintatos son depositados en los destinos suele llamarse la “fuerza del destino” y depende principalmente del momento de instalación y del número y tamaño del mismo. Por ejemplo, los frutos que primero cuajan son mas fuertes destinos que los cuajados a posteriori, por ello son más grandes.

Fick y Sosebee (1981), trabajando con *Prosopis glandulosa*, encontraron que los destinos de los fotosintatos son en orden de magnitud: primero los órganos reproductivos, segundo los tallos y tercero las raíces (Figura 16). La acumulación de fotosintatos en tallos y raíces les permite a estas plantas mantener una eficiente estrategia de rebrote y crecimiento radical; queda claro que lo que siempre se prioriza son los aspectos reproductivos y solamente se produce el envío de sacarosa a tallos y raíces luego que las legumbres están llenas.

También se verifica una acumulación de fotoasimilados a nivel foliar, probablemente para poder realizar ajuste osmótico mediante la acumulación de osmolitos compatibles como son la prolina y betaina. Nilsen *et al.* (1987) demostró ajuste osmótico en *Prosopis* spp., de hasta  $-2,4$  MPa, en tanto que en *Prosopis flexuosa*, Cavagnaro y Passera (1993) determinaron potenciales osmóticos de  $-3,3$  MPa.

El estrés hídrico afecta el transporte de fotoasimilados principalmente a raíz, posiblemente por disminución de la tasa fotosintética causada por una menor apertura estomática. La fertilización con nitrógeno favorece la partición de materia seca hacia hojas respecto de las raíces, lo que demostraría que el crecimiento foliar también es un poderoso destino de nutrientes y fotosintatos (Chapin III, 1980; Imo y Timmer, 1992).

La irradiancia también afecta el transporte de fotoasimilados. Vilela y Ravetta (2000) trabajaron con cuatro especies de algarrobos a los que sometieron a pleno sol

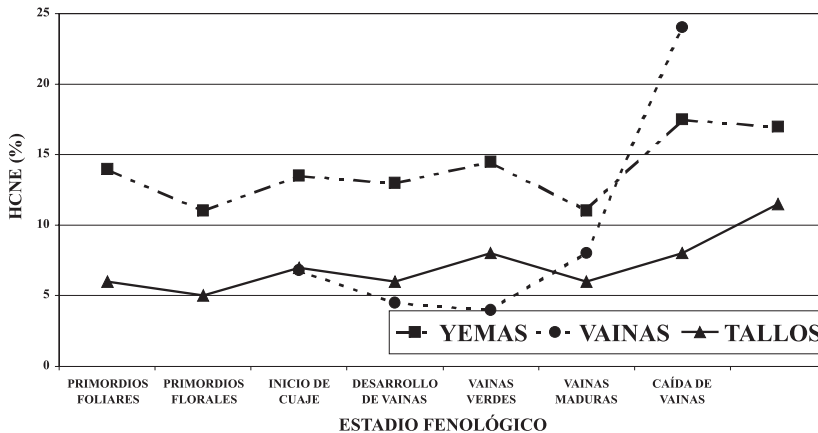


Figura 16. Hidratos de carbono no estructurales (HCNE) en yemas basales, tallos y vainas de *Prosopis glandulosa* (Fick y Sosebee, 1981)

Figure 16. Non structural carbon hydrates (HCNE) in basal buds, stems and legumes of *Prosopis glandulosa* (Fick and Sosebee, 1981)

y sombreados a 52% y 38% de irradiancia plena. En general los resultados indican que a menor disponibilidad de luz la biomasa total disminuye, pero en forma diferencial entre vástago y raíz. En la medida en que se dispone de menor luz aumenta la relación vástago/raíz (Tabla 12).

Dalmasso *et al.* (1994), determinaron la partición de asimilados entre el vástago y la raíz de plántulas de 75 días de edad de *Prosopis chilensis* y *P. flexuosa*. Los resultados encontrados por estos autores indican que en ambos casos se prioriza la partición a raíz, siendo la longitud de la misma tres y seis veces superior a la longitud del vástago respectivamente.

Tabla 12. Hidratos de carbono no estructurales (HCNE) en vástago y raíz de cuatro especies de *Prosopis* en función de la luz (Vilela y Ravetta, 2000)

Table 12. Non structural carbon hydrates (HCNE) in stem and root of four species of *Prosopis* in function of light (Vilela and Ravetta, 2000)

| ESPECIES                   | PARTE DE LA PLANTA | HC NE (% PESO SECO) |          |          |
|----------------------------|--------------------|---------------------|----------|----------|
|                            |                    | PLENO SOL           | 52 % SOL | 38 % SOL |
| <i>Prosopis alba</i>       | VÁSTAGO            | 26,9                | 24,9     | 20,6     |
|                            | RAÍZ               | 24,5                | 22,0     | 17,4     |
| <i>Prosopis chilensis</i>  | VÁSTAGO            | 26,7                | 28,2     | 26,0     |
|                            | RAÍZ               | 26,6                | 23,1     | 18,0     |
| <i>Prosopis flexuosa</i>   | VÁSTAGO            | 26,4                | 25,8     | 16,0     |
|                            | RAÍZ               | 20,7                | 22,0     | 20,1     |
| <i>Prosopis glandulosa</i> | VÁSTAGO            | 29,3                | 23,8     | 22,5     |
|                            | RAÍZ               | 25,8                | 22,1     | 23,5     |

## CONCLUSIONES

De acuerdo con lo analizado en los apartados anteriores, podemos concluir que desde el punto de vista fisiológico, las plantas del género *Prosopis* presentan características muy importantes, sobre las que seguramente se apoyan las ventajas adaptativas que estas plantas exhiben en muy diversos ecosistemas a lo ancho de su área natural de distribución, incluso también en los lugares donde han sido exitosamente introducidos.

Primeramente debemos destacar su capacidad de germinar y establecerse aun bajo condiciones de extremo déficit hídrico; esta característica explica su presencia principalmente en regiones áridas y semiáridas del mundo.

Se ha demostrado que mantienen crecimiento en condiciones adversas; esta característica le otorga ventajas competitivas incluso frente a plantas C4, que en general se aceptan como las mejores adaptadas a ambientes tropicales y secos. Pueden competir por agua superficial o usar la de freáticas incluso de napas profundas.

Otros ensayos nos han mostrado que existe una amplia variabilidad de comportamiento entre y dentro de las especies, lo que demuestra la existencia de mecanismos fisiológicos alternativos con los cuales poder hacer frente a diversos tipos de estrés.

Por último podemos mencionar que todas estas características hacen que las plantas del género *Prosopis* sean de alta importancia en los ambientes áridos y semiáridos del mundo, aportando sombra, madera, leña, alimento humano y forraje. Todos estos beneficios indican que todos los estudios realizados han sido de importancia, pero seguramente los resultados de futuras investigaciones permitirán sacar el máximo provecho que este género puede brindar.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANSLEY, R. J., P. W. JACOBY & R. A. HICKS, 1991. Leaf and whole plant transpiration in honey mesquite following severing of lateral roots. *Journal of Range Management* 44(6): 577-583.
- ANSLEY, R. J., P. W. JACOBY, C. H. MEADORS & B. K. LAWRENCE, 1992. Soil and leaf water relations of differentially moisture-stressed honey mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr.). *Journal of Arid Environments* 22: 147-159.
- ARCE, P. & O. BALBOA, 1987. Factores que inciden en la propagación por estacas en *Prosopis chilensis*. *Ciencia e Investigación Agraria* 14 (1): 51-62.
- ARCE, P., M. C. MEDINA, & O. BALBOA, 1987. Tolerancia a la salinidad en la germinación de tres especies de *Prosopis* (*P. alba*, *P. chilensis* y *P. tamarugo*). *Informe IADIZA*, 12 pp.
- ARCE, P. & O. BALBOA, 1990. Some aspects of the biology *Prosopis* growing in Chile. In: M. Habit (Ed.) *Current state of Knowledge on Prosopis juliflora* 313-322. FAO.
- BAZZAZ, F. A., 1973. Seed germination in relation to salt concentration in three populations of *Prosopis farcta*. *Oecologia* 13: 73-80.
- BJORKMAN, O., 1966. The effect of oxygen concentration of photosynthesis in higher plants. *Physiol. Plant.* 19: 618-633.
- BUSH, J. K. & O. W. VAN AUKEN, 1991. Importance of time of germination and soil depth on growth of *Prosopis glandulosa* (leguminosae) seedlings in the presence of C4 grass. *American Journal of Botany* 78(12): 1732-1739.
- CAMPOS, C. M. & R. A. OJEDA, 1997. Dispersal and germination of *Prosopis flexuosa* (Fabaceae) seeds by desert mammals in Argentina. *Journal of Arid Environments* 35: 707-714.
- CATALÁN, L. & R. E. MACCHIAVELLI, 1991. Improving germination in *Prosopis flexuosa* D. C. and *P. alba* Griseb. with hot water treatments and scarification. *Seed Science and Technology* 19: 253-262



- CATALÁN, L., M. BALZARINI, E. TALEISNIK, R. SERENO & U. KARLIN, 1994. Effects of salinity on germination and seedling growth of *Prosopis flexuosa* (D.C.). *Forest Ecology and Management* 63: 347-357.
- CAVAGNARO, J. B. & C. B. PASSERA, 1993. Relaciones hídricas de *Prosopis flexuosa*, (Algarrobo dulce) en el Monte, Argentina. CAP.III, pp:73-78. En: *Conservación y mejoramiento de especies del género Prosopis*. Eds. F. Roig, S. Trione y J. B. Cavagnaro. Contribuciones Mendocinas a la Quinta Reunión Regional para América Latina y El Caribe del CIID.
- CHAPIN III, F. S., 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 233-260.
- CONY, M. A. & S. O. TRIONE, 1996. Germination with respect to temperature of two Argentinian *Prosopis* species. *Journal of Arid Environments* 33: 225-236.
- CONY, M.A. & S.O. TRIONE, 1998. Inter-and intraspecific variability in *Prosopis flexuosa* and *P. chilensis*; seed germination under salt and moisture stress. *Journal of Arid Environments* 40: 307-317.
- DAFNI, A. & M. NEGBI, 1978. Variability in *Prosopis farcta* in Israel: seed germination as affected by temperature and salinity. *Israel Journal of Botany* 27: 147-159.
- DALMASSO, A. D., R. MASUELLI & O. SALGADO, 1994. Relación vástago raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del Monte: *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa* y *Bulnesia retama*. *Multequina* 3: 35-43.
- FELKER, P., P. R. CLARK, A. E. LAAG & P. F. PRATT, 1981. Salinity tolerance of the tree legumes: mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *P. velutina* and *P. articulata*) Algarrobo (*P. chilensis*), Kiawe (*P. pallida*) and Tamarugo (*P. tamarugo*) grown in sand culture on nitrogen-free media. *Plant and Soil* 61: 311-317.
- FELKER, P. & P. R. CLARK, 1981. Rooting of mesquite (*Prosopis*) cuttings. *Journal of Range Management* 34(6): 466-468.
- FICK, W. H. & R. E. SOSEBEE, 1981. Translocation and estorage of <sup>14</sup>C-labeled total nonstructural carbohydrates in honey mesquite. *Journal of Range Management* 34: 205-208.
- GARCÍA-CARREÑO, F. L., E. TROYO-DIÉGUEZ, & J. L. OCHOA, 1992. Relationships between saline ground water, soil, and leaf tissue composition of the phreatophyte mezquite. *Ground water* 30(5): 676-682.
- IMO, M. & V.R. TIMMER, 1992. Growth, nutrient allocation and water relations of mesquite (*Prosopis chilensis*) seedlings at differing fertilization schedules. *Forest Ecology and Management* 55: 279-294.
- IBAÑEZ, A. N. & C. B. PASSERA, 1997. Factors affecting the germination process of albaida (*Anthyllis cytisoides* L.) a forage legume of the mediterranean coast. *Journal of Arid Environment* 35: 225-231.
- JARRELL, W. M. & R. A. VIRGINIA, 1990. Response of mesquite to nitrate and salinity in a simulated phreatic environment: Water use, dry metter and mineral nutrient accumulation. *Plant and Soil* 125: 185 - 196.
- LOPEZ VILLAGRA, G. M. & F. M. GALERA, 1992. Soil salinity-sodicity effects on germination, survival and development in four populations of *Prosopis strombulifera* (Lam) Benth (Fabaceae: Mimosoideae). pp 219-233, In: Dutton, Roderic, W. (Eds) *Prosopis species aspects of their value, research and development*. CORD, Univ. of Durham, U.K.

- MANGA, V. K. & D. N. SEN, 1995. Influence of seeds traits on germination in *Prosopis cineraria* (L.) MacBride. *Journal of Arid Environments* 31: 371-375.
- MONTAÑA, C., B. CAVAGNARO & O. BRIONES, 1995. Soil water use by co-existing shrubs and grasses in the Southern Chihuahuan Desert, Mexico. *Journal of Arid Environments* 31: 1-13.
- NILSEN, E. T., M. R. SHARIFI, P. W. RUNDEL, W. M. JARREL & R. A. VIRGINIA, 1983. Diurnal and seasonal water relations of the desert phreatophyte *Prosopis glandulosa* (Honey mesquite) in the sonoran desert of California. *Ecology* 64(6): 1381-1393.
- NILSEN, E. T., M. R. SHARIFI, R. A. VIRGINIA & P. W. RUNDEL, 1987. Phenology of warm desert phreatophytes: seasonal growth and herbivory in *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* (honey mesquite). *Journal of Arid Environments* 13: 217-229.
- PATCH, N. L. & P. FELKER, 1997a. Silvicultural treatments for sapling mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) to optimize timber production and minimize seedling encroachment. *Forest Ecology and Management* 96: 231-240.
- PATCH, N. L. & P. FELKER, 1997b. Influence of silvicultural treatments on growth of mature mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) nine years after initiation. *Forest Ecology and Management* 94: 37-46.
- PEINETTI, R., M. PEREYRA, A. KIN & A. SOSA, 1993. Effects of cattle ingestion on variability and germination rate of caldén (*Prosopis caldenia*) seeds. *Journal of Range Management* 46(6): 483-486.
- PEREZ, S. C. J. G. D. & M. TAMBELINI, 1995. Effect of saline and water stress and of early aging on the "algaroba" seed germination. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 30(11): 1289-1295.
- POLLEY, H. W., C. R. TISCHLER, H. B. JOHNSON & R. E. PENNINGTON, 1999. Growth, water relations, and survival of drought-exposed seedlings from six maternal families of honey mesquite (*Prosopis glandulosa*): responses to CO<sub>2</sub> enrichment. *Tree Physiology* 19: 359-366.
- REYNOLDS, J. F., R. A. VIRGINIA, P. R. KEMP, A. G. DE SOYZA & D. C. TREMMEL, 1999. Impact of drought on desert shrubs: effects of seasonality and degree of resource island development. *Ecological Monographs* 69(1): 69-106.
- SCIFRES, C. J. & J. H. BROCK, 1969. Moisture-temperature interrelations in germination and early seedling development of mesquite. *Journal of Range Management* 22: 334-337.
- SOSEBEE, R. E. & C. WAN, 1987. *Plant Ecophysiology: a case study of honey mesquite*. Presented at the *Symposium on Shrub Ecophysiology and Biotechnology*.
- STROMBERG, J. C., J. A. TRESS, S. D. WILKINS & S. D. CLARK, 1992. Response of velvet mesquite to groundwater decline. *Journal of Arid Environments* 23: 45-58.
- VILELA, A. E. & D. A. RAVETTA, 2000. The effect of radiation on seedling growth and physiology in four species of *Prosopis* L. (Mimosaceae). *Journal of Arid Environments* 44: 415-423.
- VILLAGRA, P.E., 1998. *Comparación del comportamiento fitosociológico y ecofisiológico de Prosopis argentina y Prosopis alpataco (Fabaceae, Mimosoideae)*. Tesis Doctoral presentada al PROBIOL-Univ. Nac. de Cuyo, Mendoza Arg. 130 pág.
- WAN, R. & R. E. SOSEBEE, 1991. Water relations and transpiration of honey mesquite on 2 sites in west Texas. *Journal of Range Management* 44(2): 156-160.
- ZHAO, K.E. & P.J.C. HARRIS, 1992. The effects of iso-osmotic salt and water stresses on the growth of halophytes and non-halophytes. *J. Plant Physiol.* 139: 761-763.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000



# ESTUDIOS EVOLUTIVOS Y POBLACIONALES EN EL GÉNERO *PROSOPIS* UTILIZANDO MARCADORES BIOQUÍMICOS Y MOLECULARES

*EVOLUTIVE AND POBLATIONAL STUDIES IN THE GENUS PROSOPIS  
USING BIOCHEMICAL AND MOLECULAR MARKERS*

BEATRIZ O. SAIDMAN<sup>1\*</sup>, CECILIA F. BESSEGA<sup>1#</sup>, LAURA FERREYRA<sup>1</sup>,  
NORMA JULIO<sup>2</sup> Y JUAN C. VILARDI<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. 1428. Buenos Aires.

<sup>2</sup> Cátedra de Genética de Poblaciones y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

\* Miembro de la Carrera del Investigador Científico. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).

#Becaria del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).

*Parte de los resultados presentados en el presente trabajo integran las tesis doctorales de C. F. Bessega, L. I. Ferreyra y N. Julio y su participación en este trabajo fue equivalente.*

## RESUMEN

La forma en que se distribuye la variabilidad genética dentro y entre poblaciones depende de diferentes factores entre los que se puede mencionar el sistema reproductivo y la estrategia adaptativa. La estructura de las poblaciones, a su vez, establece restricciones a los procesos evolutivos tendientes a la adaptación creciente al ambiente y/o la diferenciación específica.

Los marcadores bioquímicos y moleculares constituyen herramientas para evaluar la proporción de la diversidad genética en entidades de complejidad creciente. Esta información permite hacer inferencias acerca de los mecanismos evolutivos que podrían haber conducido al escenario actual.

En el género *Prosopis* se realizaron estudios de estructura poblacional y se analizó la diferenciación genética en 15 especies de la Sección Algarobia, *Strombocarpa* y *Monilicarpa* utilizando las técnicas de isoenzimas, RAPD, RFLP y Secuenciación de ADN.

En siete especies de la sección Algarobia se analizó, a partir de datos provenientes de electroforesis de isoenzimas, el sistema de apareamiento, pudiendo demostrarse que

aunque éstas son mayormente exógamas, pueden presentar hasta un 28% de autofecundación, con un promedio del 19%.

La variabilidad genética en especies de *Algarobia* es alta, pero tiende a ocurrir dentro de las poblaciones. Por esta razón con muestras de pocas poblaciones se cubre la mayor parte de la variación genética detectada por isoenzimas y por la técnica de RAPD.

Con excepción de *P. kuntzei*, las especies de *Algarobia* son muy afines entre sí independientemente de su nivel de ploidía y distribución geográfica y las mismas no se agrupan de acuerdo con las series.

En las especies estudiadas de la sección *Strombocarpa* la variabilidad es mucho menor que en *Algarobia*. Estas especies se diferencian mucho entre sí y se separan claramente de las de *Algarobia*.

Finalmente *P. argentina* (secc. *Monilicarpa*) es la especie más diferenciada de las estudiadas hasta el presente.

La hibridación natural es un hecho frecuente entre especies de la sección *Algarobia*. La técnica de RAPD ha permitido obtener bandas marcadoras de especie que podrían utilizarse para inferir los progenitores putativos de híbridos naturales.

Finalmente los resultados obtenidos por las técnicas de RFLP de mitocondrias y cloroplastos, así como la de secuenciación de un fragmento de este último plástido han permitido estudios cladísticos que confirman la alta afinidad entre especies de *Algarobia* y brindan evidencias de que las mismas tendrían un origen común.

**Palabras clave:** Isoenzimas, RAPD, Secuenciación de ADN, Estructura Poblacional.

## SUMMARY

*The way in which genetic variability is distributed within and among populations depends on different factors, outstanding among these are the reproductive system and the adaptive strategy. Population structure, in turn, imposes restrictions to those evolutionary processes tending to a growing adaptation to the environment and/or specific differentiation.*

*Studies on population structure were made for the *Prosopis* genus and the genetic differentiation was analyzed for 15 species of *Algarobia*, *Strombocarpa* and *Monilicarpa* Sections using isoenzyme techniques, RAPD, RFLP and DNA sequencing. The linkage system was analyzed in 7 species of the *Algarobia* Section from data obtained from isoenzyme electrophoresis, which showed that although these species are mostly exogamous they can reach up to 28% of self-fecundation, with an*

average of 19%. This behaviour and the limited capacity for pollen and seed dispersal determine an excess of homozygotes in the populations.

Except for *P. kuntzei*, *Algarobia* species are closely related, independently of their ploidy level and geographical distribution, and are not grouped according to series.

Species in the *Strombocarpa* Section exhibit much lower variability than those in *Algarobia*.

*P. argentina* (*Monilicarpa* Section) is the most distinctly differentiated of the species studied to date. Natural hybridation is frequent among species of the *Algarobia* Section. This phenomenon and the great similarity among these species make their recognition difficult.

The results obtained using RFLP techniques in mitochondria and chloroplasts confirm the great affinity among *Algarobia* species, and provide evidence that they would have a common origin.

**Key words:** Isoenzymes, RADP, DNA sequencing, population structure.

## INTRODUCCIÓN

El género *Prosopis* ha despertado gran interés en los últimos años dado que constituye un recurso promisorio para reforestación y recuperación de suelos empobrecidos en regiones áridas y semiáridas. Desde el punto de vista ecológico estas especies cumplen importantes funciones, que incluyen fijación de nitrógeno, control de la erosión del suelo y estabilización de médanos y presentan tolerancia a la sequía y a suelos salinos. Desde el punto de vista económico sus usos son muy diversos: alimentos y forraje, combustible, leña, elaboración de alcohol, fabricación de muebles y producción de taninos y exhiben una excelente adaptación a sistemas agroforestales y silvopastoriles.

La provincia biogeográfica chaqueña en la Argentina constituye un importante centro de polimorfismo de este grupo (Burkart, 1976). De las 44 especies que comprende el género, unas 28 pueden encontrarse en este país, ocupando diferentes provincias biogeográficas pertenecientes al dominio Chaqueño (para una revisión de las regiones biogeográficas en Sudamérica ver Cabrera y Willink, 1980). La explotación racional de especies nativas requiere de un amplio conocimiento de la taxonomía, biología, ecología y genética. A partir de los estudios pioneros sobre taxonomía (ver Burkart, 1976), se realizaron estudios sobre las relaciones entre especies del grupo basados en diversas técnicas, tales como cromatografía, citogenética, electroforesis de proteínas seminales e isoenzimas, que fueron revisados por Hunziker *et al.* (1986). Durante los últimos años los avances de la biología molecular permitieron incorporar nuevos marcadores útiles en estudios poblacionales y filogenéticos para resolver problemas relacionados con la estructura genética, sistema de fecundación, identifica-

ción de híbridos naturales y relaciones entre las diferentes especies del género (Saidman, 1985, 1993; Saidman y Vilardi, 1987, 1993, Bessega *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c).

## MATERIAL Y MÉTODO

### *Estudios alozímicos*

La mayor parte de los estudios acerca de la variación genética en especies de *Prosopis* se basan en electroforesis de isoenzimas. Hasta el presente se estudiaron isoenzimáticamente 19 especies, 13 pertenecientes a la sección Algarobia, 5 de *Strombocarpa* y *P. argentina* de la sección *Monilicarpa* (Tabla 1). Dentro de la sección Algarobia se analizaron además poblaciones que comprendían híbridos naturales interespecíficos. Esta técnica permitió estimar parámetros para cuantificar (a) la variabilidad genética dentro de las poblaciones, (b) la estructura genética, (c) el sistema de fecundación y (d) la diferenciación genética entre poblaciones y especies.

La variabilidad fue cuantificada por medio de diferentes índices incluyendo la proporción de loci polimórficos ( $P$ ), la heterocigocidad media ( $H$ ), el número efectivo de alelos ( $ne$ ), el número total de alelos ( $A$ ). Los resultados obtenidos hasta el presente muestran diferencias importantes entre las especies de las secciones Algarobia y *Strombocarpa* en el grado de variabilidad dentro de las poblaciones. En la primera la variabilidad fue mucho mayor ( $H=0.21\pm0.01$ ,  $P=51.5\pm1.9$ ,  $ne=1.30$ ,  $A=1.81$ ) que en las especies de *Strombocarpa* ( $H=0.07\pm0.01$ ,  $P=15.3\pm2.3$ ,  $ne=1.06$ ,  $A=1.15$ ).

La frecuente ocurrencia de híbridos naturales interespecíficos e introgresantes entre especies de Algarobia se consideró inicialmente como una posible explicación de la mayor variabilidad genética en esta sección. Por este motivo se realizaron estudios de estructura poblacional y se estimaron los coeficientes  $F_{ST}$  jerárquicos y no jerárquicos y el índice de fijación  $F_{IS}$  (Wright, 1951, 1978). La hipótesis a evaluar era que si las barreras reproductivas entre las especies eran débiles, las especies simpátricas podrían mantener un alto flujo génico, reduciendo la diferenciación entre ellas y aumentando su variabilidad. Los resultados de estos análisis indicaron que la diferenciación entre poblaciones coespecíficas, cuantificada por medio del coeficiente  $F_{ST}$ , era menor que entre poblaciones de distintas especies que cohabitaban en una misma localidad. La interpretación de estos resultados es que a pesar de la capacidad de hibridar en simpatria, el flujo génico efectivo entre distintas especies no sería significativo (Saidman *et al.*, 1998a; Ferreyra, 2001). Algunos loci, como *Adh-1*, *Adh-2*, *Idh-1* e *Idh-2* serían los que más contribuyen a la diferenciación entre las especies.

El índice  $F_{IS}$  indicó que en la mayoría de las especies estudiadas de Algarobia había un significativo exceso de homocigotas con respecto a lo esperado para poblaciones panmícticas ( $F_{IS} > 0$ ) (Montoya *et al.*, 1994; Julio, 2000; Ferreyra, 2001; Bessega,

Tabla 1. Especies y poblaciones de *Prosopis* analizadas hasta el presente mediante isoenzimas, RAPD, RFLP o secuenciación

**Table 1.** *Species and populations of Prosopis analyzed up to the present time by means of inoenzymes, RAPD, RFLP or secuenciación*

| SECCIÓN                        | SERIE                | ESPECIE              | POBLACIÓN                  | COLECTOR                     |                       |     |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|-----|
| Algarobia                      | Ruscifoliae          | <i>P. ruscifolia</i> | Herrera, Sgo. del Estero   | BOS-JCV                      |                       |     |
|                                |                      |                      | Sarmiento, Sgo. Del Estero | BOS-JCV                      |                       |     |
|                                |                      |                      | Rivadavia, Salta           | BOS-JCV                      |                       |     |
|                                |                      |                      | Pinto, Sgo. del Estero     | BOS-JCV                      |                       |     |
|                                |                      |                      | 7 de abril, Tucumán        | BOS-JCV                      |                       |     |
|                                |                      |                      |                            | <i>P. vinalillo</i>          | Dept. Patiño, Formosa | RAP |
|                                |                      |                      |                            | <i>P. hassleri</i>           |                       |     |
|                                |                      | Chilenses            | <i>P. nigra</i>            | La Banda, Sgo. del Estero    | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Paraná, Entre Ríos           | CAN                   |     |
|                                |                      |                      |                            | La Merced, Salta             | BOS-JCV               |     |
| Huilla Catina, Sgo. del Estero | BOS-JCV              |                      |                            |                              |                       |     |
|                                | <i>P. caldenia</i>   |                      |                            | Santa Rosa, La Pampa         | BOS-JCV-CAN           |     |
|                                |                      |                      |                            | R152 Km. 95, La Pampa        | BOS-JCV-PS-HT         |     |
|                                | <i>P. flexuosa</i>   |                      |                            | Quilmes, Tucumán             | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | La Amarga, La Pampa          | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Pipanaco, Catamarca          | MC                    |     |
|                                | <i>P. alpataco</i>   |                      |                            | Chacharramendi, La Pampa     | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | R152 Km. 95, La Pampa        | BOS-JCV-PS-HT         |     |
|                                | <i>P. alba</i>       |                      |                            | Trancas, Tucumán             | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Chicoana, Localidad          | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | La Merced, Salta             | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Sumalao, Salta               | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Burruyacu, Tucuman           | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Curtiembres, Salta           | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Icaño, Sgo. del Estero       | BOS-JCV               |     |
|                                |                      |                      |                            | Casares, Sgo. del Estero     | BOS-JCV               |     |
|                                | <i>P. glandulosa</i> |                      |                            | Weslaco, Texas               | JE                    |     |
|                                |                      |                      |                            | La Copita, Texas             | JE                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Bell Co, Texas               | JE                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Frio Co, Texas               | JE                    |     |
|                                | <i>P. velutina</i>   |                      |                            | Santa Rita, Arizona          | JE                    |     |
|                                | <i>P. chilensis</i>  |                      |                            | Villa Dolores, Córdoba       | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Patquía, La Rioja            | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Belén, Catamarca             | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Las Talas, La Rioja          | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Talampaya, La Rioja          | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | La Higuera; San Luis         | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Media Naranja, Córdoba       | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Chacabuco, Santiago (Chile)  | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Monte Patria, Limari (Chile) | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Soto, Córdoba                | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Conlara, Córdoba             | NJ                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Astica, San Juan             | NJ                    |     |
|                                | <i>P. juliflora</i>  |                      |                            | Cartagena, Colombia          | JH                    |     |
|                                |                      |                      |                            | Altamira, Colombia           | JH                    |     |

| SECCIÓN      | SERIE         | ESPECIE   | POBLACIÓN   | COLECTOR  |
|--------------|---------------|---|---|---|
|              |               | <i>P. alba x</i><br><i>P. nigra</i><br><i>P. alba x</i><br><i>P. flexuosa</i>             | Pampa Blanca, Jujuy<br>El Alamo, Salta  | BOS-JCV<br>BOS-JCV                                  |
|              | Pallidae      | <i>P. affinis</i>   | Hasenkamp, Entre Ríos   | FM  |
|              | Sericanthae   | <i>P. kuntzei</i>   | Tacana, Tucumán<br>Herrera, Sgo. del Estero   | BOS-JCV<br>BOS-JCV                                  |
| Strombocarpa | Strombocarpae | <i>P. strombulifera</i><br><i>P. reptans</i><br><i>P. torquata</i><br><i>P. pubescens</i> | Copacabana, Catamarca<br>Conesa, Río Negro<br>Herrera, Sgo. del Estero<br>Icaño, Sgo del Estero<br>Famatina, La Rioja<br>Bell Co, Texas | BOS-JCV<br>AB<br>BOS-JCV<br>BOS-JCV<br>JCV-JH<br>JE |
| Monilicarpa  | Cavenicarpae  | <i>P. ferox</i><br><i>P. argentina</i>  | Los Cardones, Salta<br>Tucunuco, San Juan Tinogasta, Catamarca  | MP<br>PV PV   |

BOS: B.O. Saidman, JCV: J.C. Vilardi, RAP: R.A. Palacios, CAN: C.A. Naranjo, PS: P. Steibel, HT: H. Triani, MC: M. Cony, JE: J. Evans, NJ: N. Julio, JH: J. Hunziker, FM: F. Mollard, AB: A. Burghardt, MP: M. Pocoví, PV: P. Villagra.

1997; 2001; Bessega *et al.*, 2000c). Este resultado era contradictorio con ciertas evidencias que sugerían que estas especies serían de fecundación cruzada obligada (Burkart, 1976; Simpson, 1977; Simpson *et al.*, 1977). Por este motivo se realizó un estudio de los parámetros del sistema de fecundación en poblaciones naturales de siete especies por medio de los coeficientes de exocruza  $t$  (Ritland y Jain, 1981). El método de análisis fue el de Brown y Allard (1970) utilizando el programa MLTR (versión mejorada del programa MLT; MLTR, Ritland) Éste se basó en la segregación de variantes alozímicas, agrupando las muestras poblacionales en familias constituidas por semillas provenientes de una misma planta madre (medio hermanas) (Bessega *et al.*, 2000c). Los coeficientes de exocruza a nivel multilocus ( $t_m$ ) y de loci individuales ( $t_s$ ) indicaron que la proporción de autofecundación variaba de 0.72 a 1.0, lo que implica que, aunque las especies son principalmente exógamas, puede ocurrir hasta un 28% de autofecundación, con un promedio del 15%. Esta tasa de autofecundación podría explicar valores de  $F_{IS}$  promedio de aproximadamente 0.08, mientras que los valores estimados de  $F_{IS}$  en las mismas poblaciones oscilaron entre 0.07 y 0.48, con un promedio de 0.27 (Bessega *et al.*, 2000b). La diferencia entre el valor de  $F_{IS}$  esperado en función de la tasa estimada de exocruza y los valores observados se interpretó como el producto de subestructuración de las poblaciones (Bessega *et al.*, 2000c). Dicha subestructuración podría deberse a que la dispersión del polen en especies de *Algarobia*



sería limitada (Genisse *et al.*, 1990; Bessega *et al.*, 2000c), lo que favorecería el cruzamiento entre árboles vecinos.

Al estimar los coeficientes  $F_{IS}$  en las plantas madres, Bessega *et al.* (2000c) observaron que éstos eran menores que en las semillas y propusieron que esto podría deberse a selección en favor de los heterocigotas.

Una información importante para planes de conservación de germoplasma y explotación racional de especies promisorias se relaciona con la distribución de la variación genética entre y dentro de regiones y poblaciones. Esta información permite tomar decisiones acerca de la mejor estrategia de muestreo para bancos de germoplasma y de selección de caracteres benéficos heredables. *P. chilensis* es una de las especies más promisorias para programas de reforestación (Burkart, 1976). Su alta variabilidad morfológica aparentemente asociada a la diversidad climática y edáfica, así como su alta productividad de frutos (Roig, 1993; Cony, 1993; Karlin y Diaz, 1998a,b) alientan el desarrollo de programas de selección. En esta especie se realizó un análisis jerárquico de la distribución de la variabilidad a partir de un muestreo que involucraba 12 poblaciones pertenecientes a 3 regiones geográficas: Provincia Biogeográfica Chaqueña (Córdoba y San Luis), Provincia Biogeográfica del Monte (La Rioja, Catamarca y San Juan) y Valle Central de Chile (Julio, 2000). Los resultados indicaron que la mayoría de la variación (~87% de la diversidad total) ocurre dentro de las poblaciones. La diferenciación entre las poblaciones dentro de cada región fue baja (~13%), mientras que no hay divergencia entre regiones.

El mismo método estadístico permitió evaluar cómo se distribuye la variación genética entre y dentro de especies de la sección Algarobia. Para ello se consideraron dos niveles jerárquicos: especie y población. Bessega *et al.* (2000b) estudiando dos especies argentinas (*P. flexuosa* y *P. ruscifolia*) y una especie norteamericana (*P. glandulosa*) y Ferreyra (2001) estudiando seis especies argentinas obtuvieron conclusiones similares. Más del 60% de la diversidad total ocurre dentro de las poblaciones, la menor diversidad (13%) se verifica entre poblaciones de la misma especie y la diferenciación entre especies es intermedia (16-24%) entre las anteriores. Curiosamente, la inclusión de especies muy aisladas geográficamente en el estudio realizado por Bessega *et al.* (2000b) no se ve acompañado de un incremento de la diferenciación genética entre especies. En otros estudios (Saidman *et al.*, 1997) se observó también que poblaciones tetraploides de *P. juliflora* de Colombia mostraban alta similitud genética con especies diploides argentinas (*P. caldenia* y *P. ruscifolia*). Estos resultados son una fuerte evidencia en contra de la hibridación como explicación de la alta similitud genética observada entre especies de Algarobia. Por lo tanto, aunque no puede descartarse que la hibridación haya jugado un papel en las primeras etapas de la diversificación específica de este grupo, es muy probable que la alta variabilidad compartida y la escasa diferenciación entre estas especies se deba a que el efecto fundador haya tenido poca importancia durante la especiación, como consecuencia de

tasas de crecimiento poblacional altas. En contraste, la evolución de rasgos morfológicos podría haber sido rápida como respuesta a la adaptación a distintos nichos ecológicos, promoviendo claras diferencias entre las especies.

A diferencia de lo observado en Algarobia, las especies estudiadas de *Strombocarpa* están muy diferenciadas genéticamente entre sí. Sólo dos especies de esta sección, *P. reptans* y *P. strombulifera*, son muy afines entre sí, y, por una serie de criterios independientes, se sugiere que podrían constituir variedades o subespecies más que especies (Hunziker *et al.*, 1986; Saidman *et al.*, 1996). Las especies estudiadas de *Strombocarpa* y la única especie de *Monilicarpa*, *P. argentina*, se diferencian claramente de las de Algarobia.

En conclusión, los estudios alozímicos han contribuido a la interpretación de las relaciones entre las especies de este género y a la caracterización de la estructura poblacional. Sin embargo, estos marcadores no aportan loci que puedan utilizarse para identificar taxonómicamente las especies de la sección Algarobia analizadas hasta el momento.

### **Estudios basados en marcadores moleculares**

Dado que muchas de las especies económicamente más importantes pertenecientes a la sección Algarobia hibridan naturalmente, sería fundamental contar con una herramienta que permitiera identificar los posibles progenitores de dichos híbridos. Estos marcadores serían útiles también para evaluar los resultados de cruzamientos interespecíficos controlados con el objeto de combinar propiedades de interés agroforestal de distintas especies.

Una técnica relativamente sencilla que permite analizar simultáneamente muchos loci se basa en el análisis de polimorfismos de fragmentos de ADN amplificados al azar (RAPD). Utilizando este método se analizaron poblaciones naturales de *P. flexuosa*, *P. alba*, *P. nigra*, *P. ruscifolia* y *P. vinalillo* e híbridos naturales determinados morfológicamente como *P. alba* x *P. flexuosa* y *P. alba* x *P. nigra* (Tabla 1 y Saidman *et al.*, 1998a).

El análisis de los patrones de bandas obtenidos mediante esta técnica permitió por primera vez obtener marcadores moleculares que diferencian *P. alba*, *P. ruscifolia* y *P. nigra*. (Ferreira *et al.*, inédito) Asimismo, en las poblaciones híbridas (Saidman *et al.*, 1998a) se pudo reconocer los posibles progenitores. Una de ellas (*P. alba* x *P. flexuosa*) mostró patrones correspondientes a lo esperado por introgresión hacia uno de los progenitores (*P. flexuosa*). Sin embargo la otra población (*P. alba* x *P. nigra*) mostró patrones complejos donde estaban presentes bandas adicionales, no presentes en ninguno de sus progenitores putativos.

Los resultados obtenidos son también importantes para interpretar el posible origen de *P. vinalillo*. Según Burkart (1976) esta especie se habría originado como un híbrido

entre *P. alba* y *P. ruscifolia*. Los marcadores RAPD obtenidos hasta el momento indican que esta especie tiene bandas de *P. ruscifolia* y de *P. nigra*, pero en ningún caso se observaron bandas de *P. alba* (Ferreya *et al.*, inédito), de modo que los resultados presentes no apoyarían la hipótesis de Burkart.

Los resultados obtenidos hasta el momento son promisorios y permiten suponer que el análisis de un mayor número de cebadores (“primers”) permitirá la caracterización inequívoca de éstas y otras especies de la sección Algarobia.

Los RAPD fueron utilizados también para estudios de estructura poblacional y diferenciación genética entre poblaciones. Los resultados obtenidos por RAPD en tres especies argentinas (*P. flexuosa*, *P. nigra* y *P. alba*) y dos norteamericanas (*P. glandulosa* y *P. velutina*) se compararon con los obtenidos por estudios alozímicos (Bessega *et al.*, 2000a). Los RAPD y las isoenzimas fueron coincidentes en mostrar alta variabilidad genética. Cuando se consideraron todas las poblaciones ambos marcadores produjeron estimas altas de la diferenciación genética medida a través del coeficiente  $F_{ST}$ , lo cual sugeriría que el flujo génico sería escaso. Al analizar solamente poblaciones de *P. glandulosa*, los datos de isoenzimas, de acuerdo con lo esperado para poblaciones coespecíficas, mostraron una reducción de la estima del  $F_{ST}$  compatible con un flujo génico mayor. Sin embargo, este efecto no se evidenció para los marcadores RAPD.

Estos marcadores, mostraron valores más altos de diferenciación genética entre las poblaciones coespecíficas de *P. glandulosa* que los obtenidos a partir de las isoenzimas y podrían resultar más útiles para realizar estimas de la variabilidad dentro de estas especies. Por otra parte, las isoenzimas fueron más útiles para diferenciar *P. glandulosa* de *P. velutina*, en base a los sistemas GOT y PRX.

Un método objetivo que permite estimar las afinidades entre especies y que no se ve afectado por el ambiente o problemas de desarrollo se basa en la comparación de fragmentos de ADN obtenidos por digestión con endonucleasas de restricción (RFLP) y/o por reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y secuenciación de segmentos de ADN específicos. Mediante este tipo de técnicas es posible además comparar genes nucleares y citoplasmáticos, que poseen diferentes sistemas de transmisión, lo que permite realizar inferencias con respecto a los mecanismos evolutivos involucrados.

Se aplicaron las técnicas de RFLP de ADN mitocondrial y ribosómico y PCR de un espaciador no transcrito de ADNr en las especies *P. ruscifolia*, *P. flexuosa*, *P. chilensis*, *P. kuntzei* (Secc. Algarobia), *P. ferox*, *P. reptans* y *P. pubescens* (Secc. Strombocarpa) y en híbridos *P. chilensis* x *P. flexuosa*. Para cada tipo de genoma se realizaron análisis independientes de agrupamiento a partir de las similitudes entre especies. Los resultados de ambos son coherentes con la clasificación morfológica, salvo por el hecho de que *P. pubescens* aparece aislada y no se agrupa con otras especies de su misma serie. Los datos de ADNr, en concordancia con los estudios alozímicos, agrupan cercanamente las especies de Algarobia, mientras que las de Strombocarpa

están mucho más dispersas. Los resultados del ADNmt, a diferencia de los isoenzimáticos, son consistentes con la morfología por cuanto separa las especies de distintas series (Saidman *et al.*, 1998b).

Mediante la técnica de RFLP se realizó un análisis cladístico basado en el ADN del cloroplasto (ADNcp) en una especie de Strombocarpa (*P. reptans*) y 10 especies de Algarobia (Serie Ruscifoliae: *P. ruscifolia* y *P. vinalillo*; Ser. Chilenses: *P. alba*, *P. glandulosa*, *P. caldenia*, *P. flexuosa*, *P. alpataco* y *P. nigra*; Ser. Pallidae: *P. affinis*; Ser. Sericanthae: *P. kuntzei*). *Acacia aroma* se utilizó como grupo externo. Se analizaron los fragmentos obtenidos por digestión con 10 enzimas de restricción utilizando como sondas dos regiones de ADNcp de *Nicotiana tabacum*. La primera región estudiada corresponde a 17.4 kb. de la región SSC del cloroplasto mientras que la otra región corresponde a 10.3 kb. del IR.

No se observó variación intraespecífica ni diferenciación entre los patrones de restricción de las especies de la Sección Algarobia, excepto *P. kuntzei* que presentó patrones característicos diferenciales con respecto a las otras especies (Bessega, 2001; Bessega *et al.*, inédito).

Se analizó además la secuencia nucleotídica de un fragmento 1500 pb de ADNcp. El fragmento se obtuvo por la amplificación por PCR, utilizando cebadores universales de la región espaciadora intergénica *trnT-trnD*. Los resultados permitieron construir un único árbol de máxima parsimonia que mostró que *P. reptans* y *P. kuntzei* se separan tempranamente entre sí y del resto de las especies estudiadas. Las especies de la sección Algarobia no mostraron, a diferencia de los estudios de ADNmt una topología en el cladograma acorde con lo esperado a partir de las series propuestas en base a la morfología (Bessega, 2001; Bessega *et al.*, inédito).

Visto en su conjunto, las evidencias bioquímicas y moleculares coinciden en mostrar una gran afinidad entre las especies de Algarobia, con la excepción de *P. kuntzei*. Las distancias genéticas entre las especies analizadas de las series Ruscifoliae, Chilenses y Pallidae, en algunos casos son tan bajas como las registradas en otros géneros para poblaciones pertenecientes a subespecies o razas geográficas de la misma especie. Estos resultados sugieren que las mismas podrían estar en una etapa temprana de especiación. *P. reptans* (Strombocarpa) y *P. kuntzei* (serie Sericanthae) se habrían separado tempranamente del resto de las especies analizadas hasta el presente (Saidman y Vilardi, 1987; Pocoví, 1992; Bessega, 2001; Bessega *et al.*, inédito).

## AGRADECIMIENTOS

El material argentino analizado fue determinado gentilmente por RA. Palacios (UBA), el material de Norteamérica fue cedido por el Dr. CJ De Loach (Grassland Research Station- USDA/ARS), las poblaciones de *P. argentina* y parte de *P. flexuosa* fueron

cedidas por P. Villagra y M. Cony (IADIZA, Argentina). Este trabajo fue realizado gracias al apoyo financiero de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 6628), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PIP 0722/98) y Universidad de Buenos Aires (PIP UBACYT X086).

## BIBLIOGRAFÍA

- BESSEGA, C., 1997. *Estudios isoenzimáticos en especies Americanas del Género Prosopis (Leguminosae)*. Tesis de Licenciatura. FCEyN. Universidad de Buenos Aires.
- BESSEGA C., 2001. *Estructura poblacional y relaciones filogenéticas (distancia y parsimonia) en especies del género Prosopis (Leguminosae)*. Tesis de Doctorado. FCEyN. Universidad de Buenos Aires.
- BESSEGA, C., B.O. SAIDMAN & J. C. VILARDI, 2000a. Isozyme and RAPD Studies in *Prosopis glandulosa* and *P. velutina* (Leguminosae, Mimosoideae). *Genetics and Molecular Biology* 23 (3):1-5.
- BESSEGA, C., L. FERREYRA, B. O. SAIDMAN & J. C. VILARDI, 2000b. Unexpected low genetic differentiation among allopatric species of section Algarobia of *Prosopis* (Leguminosae). *Genetica* 109:255-266.
- BESSEGA, C., L. I. FERREYRA, N. JULIO, S. MONTOYA, B. O. SAIDMAN & J. C. VILARDI, 2000c. Mating system parameters in species of genus *Prosopis* (Leguminosae). *Hereditas* 132:19-27.
- BESSEGA, C., M. CLEMENTE, J. C. VILARDI & B. O. SAIDMAN. *Phylogenetic relationships among species of Genus Prosopis (Fabaceae) based on cpDNA variation*. Inédito
- BROWN, A. H. D. & R. W. ALLARD, 1970. Estimation of the mating system in open-pollinated maize populations using isozyme polymorphisms. *Genetics* 66:133-145.
- BURKART A., 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoidae). *Journal Arnold Arboretum* 57:219-525
- CABRERA, A. L. & A. WILLINK, 1980. Biogeografía de América Latina. *Monografías Científicas de la OEA*. vol. 13. Buenos Aires, Argentina.
- CONY, M., 1993. Reforestación racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. *Interciencia* 20:249-253.
- FERREYRA, L., 2001. *Estudio de la variabilidad y la diferenciación genética por medio de técnicas de isoenzimas y RAPD en poblaciones naturales de especies e híbridos del Género Prosopis (Leguminosae, Mimosoidae)*. Tesis de Doctorado. FCEyN. Universidad de Buenos Aires.
- FERREYRA, L. I., C. BESSEGA, B. O. SAIDMAN & J. C. VILARDI. *First report on RAPD patterns able to differentiate some species of section Algarobia (Prosopis, Leguminosae)*. Inédito.
- GENISSE, J., R. A. PALACIOS, P. S. HOC, R. CARRIZO, L. MOFFAT, M. P. MOM, M. A. AGULLO, P. PICCA & S. TORREGOSA, 1990. Observaciones sobre la biología floral de *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoidae). II Fases florales y visitantes en el distrito Chaqueño Serrano. *Darwiniana* 30:71-85.
- HUNZIKER, J. H., C. A. NARANJO, R. A. PALACIOS, L. POGGIO & B. O. SAIDMAN, 1986. Studies on the taxonomy, genetic variation and biochemistry of Argentine species of *Prosopis*. *Forest Ecology and Management* 16 (1-4):301-315.

- JULIO, N. B., 2000. *Estudios alozímicos sobre variabilidad, estructura y diferenciación genética en Prosopis chilensis (Leguminosae, Mimosoideae) y especies relacionadas*. Tesis de Doctorado. Cs. Biológicas, Universidad Nacional de Córdoba.
- KARLIN, U. & R. DIAZ, 1988a. Otros posibles usos. En: *Prosopis en la Argentina. Documento preliminar elaborado para el Primer Taller Internacional sobre recursos genéticos y Conservación de Germoplasma de Prosopis*. Pp: 237. FAO, FCA-UNC y FCEyN-UBA.
- KARLIN, U. & R. DIAZ, 1988b. Sistemas agroforestales. En: *Prosopis en la Argentina. Documento preliminar elaborado para el Primer Taller Internacional sobre recursos genéticos y Conservación de Germoplasma de Prosopis*. Pp: 235. FAO, FCA-UNC y FCEyN-UBA.
- MONTOYA, S., B. O. SAIDMAN, J. C. VILARDI & C. BESSEGA, 1994. Diferenciación y flujo genético entre especies de la Sección Algarobia, Género *Prosopis* (Leguminosae). XXIV Congreso de la Sociedad Argentina de Genética: 17.
- POCOVÍ, M. I., 1992. *Estudios isoenzimáticos en especies de Prosopis (Leguminosae, subf. Mimosoideae)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- RITLAND, K. & S. JAIN, 1981. A model for the estimation of outcrossing rate and gene frequencies using  $n$  independent loci. *Heredity* 47:35-52.
- ROIG, F. A., 1993. Aportes a la Etnobotánica del Género *Prosopis*. En: *Contribuciones Mendocinas a la quinta Reunión Regional para América Latina y el Caribe de la Red de Forestación del CIID*. Pp: 99-121. Unidades de Botánica y Fisiología vegetal. IADIZA.
- SAIDMAN, B. O., 1985. *Estudio de la variación alozímica en el género Prosopis*. Tesis Doctoral, FCEyN. Universidad de Buenos Aires.
- SAIDMAN, B. O., 1993. Las isoenzimas en el estudio de la variación genética y las afinidades entre especies de *Prosopis*. *Bol. Genét. Inst. Fitotéc. Castelar* 16:25-37.
- SAIDMAN, B. O. & J. C. VILARDI., 1987. Analysis of the genetic similarities among seven species of *Prosopis* (Leguminosae: Mimosoideae). *Theoretical Applied Genetics* 75:109-116.
- SAIDMAN, B. O. & J. C. VILARDI, 1993. Genetic variability and germplasm conservation in the genus *Prosopis*. En: Puri, S. (ed). *Nursery Technology of Forest Tree Species of Arid and Semiarid Regions*. Pp. 187-198. Winrock-oxford & IBH Publishing Co. PVT. LTD., New Delhi, Bombay, Calcuta.
- SAIDMAN, B. O., J. C. VILARDI, M. I. POCOVÍ & N. ACRECHE, 1996. Isozyme studies in Argentine species of the Section Strombocarpa, Genus *Prosopis* (Leguminosae). *J. Genetics* 75:139-149.
- SAIDMAN, B. O., J. C. VILARDI, S. MONTOYA & L. POGGIO, 1997. Genetic Variability and Ploidy level in species of *Prosopis* (Leguminosae). *Bol. Soc. Argent Bot.* 32 (3-4): 217-225.
- SAIDMAN, B. O., C. BESSEGA, L. FERREYRA & J. C. VILARDI, 1998a. Random amplified polymorphic DNA (RAPDS) variation in hybrid swarms and pure populations of genus *Prosopis*. In: Bruns, S., S. Mantell, C. Tragårdh & A. V. Viana (eds.) *Recent Advances in Biotechnology for Tree Conservation and Management*. Pp: 122-134. International Foundation for Sciences. Stockholm. ISBN: 91 85798 460.

- SAIDMAN, B. O., J. C. VILARDI, S. MONTOYA, M. J. DIEGUEZ & H. E. HOPP, 1998b. Molecular markers: a tool for the understanding of the relationships among species of *Prosopis* (Leguminosae, mimosoidae). In: Puri, S. (Ed.). *Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer*. Science Publishers Inc. U. S. A. Chapter 21:311-324.
- SIMPSON, B.B., 1977. Breeding system of dominant perennial plants of two disjuncts warm desert ecosystems. *Oecologia* 27:203-226.
- SIMPSON, B. B., J. L. NEFF & A. R. MOLDENKE, 1977. *Prosopis* flowers as a resource. En: BB Simpson (ed). *Mesquite: Its biology in two desert ecosystems, US/IBP synthesis Series Ch 5:84-107*. Dowden Hutchinson and Ross, Stroudsburg.
- WRIGHT, S., 1951. The genetical structure of populations. *Annals Eugenics* 15:323-354.
- WRIGHT, S., 1978. Evolution and the genetics of Populations, Vol 4. In: *Variability within and among natural populations*. University of Chicago Press, Chicago.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000







# MANAGEMENT OF NATIVE *PROSOPIS* STANDS AND PROGRESS IN GENETIC IMPROVEMENT

MANEJO DE MACIZOS NATIVOS DE *PROSOPIS*  
Y AVANCES EN MEJORA GENÉTICA

PETER FELKER

Secretaría de Producción y Medio Ambiente. La Plata 514. (4200) Santiago del Estero

## SUMMARY

Over the last 30 years, high quality hardwood lumber is one of the few commodities that have consistently increased in value (Felker, 2000). It would appear that the long-term demand for quality hardwood lumber, should increase, especially in the face of significant tropical deforestation. Of all the potential products of arid lands, *Prosopis* hardwood lumber has one of the highest unit prices of close to \$1000 per ton (at \$2/bd ft or \$856 per cubic meter and a density of 750 kg/cubic meter). Using the scenarios described above, an internal rate of return of 9.3% was calculated for *Prosopis* agroforestry plantations without ascribing any value to pod production or to soil fertility increases and should be an attractive long term, low risk opportunity for institutional investors (Felker, 2000). *Prosopis* lumber could be a valuable asset in assuring the stability of Europe's 60,000 million Euro furniture industries. However before significant quantities of algarrobo lumber, furniture or flooring can be commercialized for export, ecological certification to obtain "A green seal" as outlined by the Forestry Stewardship Council [www.certifiedwood.org](http://www.certifiedwood.org) or one of their approved NGO's, SMARTWOOD- [www.smartwood.org](http://www.smartwood.org), must be achieved.

Key words: Management, weeds, intercropping, fertilization, cloning, selection.

## RESUMEN

*En los últimos 30 años los artículos de madera de alta calidad son de los pocos que han incrementado de manera consistente su valor (Felker, 2000). Surgiría así que la demanda a largo plazo de artículos de madera de calidad debería incrementarse,*

*especialmente a costa de la deforestación tropical. De todos los productos potenciales de las zonas áridas, los artículos manufacturados con Prosopis tienen el mayor precio unitario cercano a los \$ 1000 por tonelada (a \$ 856 por metro cúbico y a una densidad de 750 kg/metro cúbico). Usando el escenario descrito, una tasa interna de retorno del 9,3% fue calculada para Prosopis en plantaciones agroforestales sin atribuirle ningún valor a la producción de vainas o al incremento de la fertilidad del suelo, por lo que debería ser un atractivo a largo plazo, con bajo riesgo de oportunidad para inversores institucionales (Felker, 2000). Los artículos de Prosopis podrían ser un valioso activo al asegurar la estabilidad de la industria inmobiliaria europea de 60.000 millones de euros. Sin embargo, antes que significativas cantidades de artículos de Algarrobo, muebles o parquet, puedan ser comercializados para exportación, es necesario obtener el certificado ecológico o “Sello verde” emitido por el Concejo de Administración Forestal [www.certifiedwood.org](http://www.certifiedwood.org) o uno de los organismos no gubernamentales aprobados, SMARTWOOD- [www.smartwood.org](http://www.smartwood.org),*

*Palabras clave: Manejo, malezas, intercultivos, fertilización, clonación, selección.*

## **INTRODUCTION**

As there has been considerable work published in the international literature in journals not easily accessible outside North America, this communication will summarize key works related to applied research in *Prosopis* native stands, plantations and genetic improvement.

### ***I Management of native stands***

#### **(a) Development of techniques**

As a prerequisite to installation of treatments in mature *Prosopis* stands, it was necessary to develop simple techniques to estimate the volume and biomass of mature *Prosopis* trees and to develop techniques to accurately measure small increases in diameter. In order to estimate the biomass of large trees, 10 trees ranging from 20 to 50 cm in diameter were harvested, weighed and the sawn lumber volume determined with regression equations on the individual branch segments (El Fadl *et al.*, 1989). Regression equations computed from these data were combined with inexpensive (\$2 each) permanently mounted verniers used to estimate volume and biomass of standing trees.

To estimate the tree diameters that might be possible at various spacings, regressions were computed between basal diameter and number of stems per ha in stands that ranged from 10,000 to 5 stems per ha (in the 650 mm annual rainfall region). This regression predicted that minimum sized commercial lumber trees (40 cm in diameter) could not be obtained on spacings of less than 10 m x 10 m (Felker *et al.*, 1990).

### **(b) Development of biomass harvester to thin immature stands**

After nearly 12 years of research and development in harvesting small diameter brush, a TAMUK prototype finally achieved a harvesting rate of 7,050 kg h<sup>-1</sup> when harvesting mesquite stands less than 10 cm in basal diameter (Felker *et al.*, 1998). If this material could be sold for \$9/green ton (\$1.00 kJ<sup>-1</sup>) in the field, there would be no cost to the landowner for the clearing operation. A New Holland square baler made satisfactory 300 kg square bales from these chips. A commercial version of the TAMUK prototype was estimated to cost about \$280,000 and it was estimated that an annual demand of about 12,000 Mg of biomass at \$9 per green ton would be necessary to justify the purchase of the first harvester. In the United States the market potential for non-energy related biomass i.e. potting soil base, landscape mulch, wood chips for bioremediation, mesquite barbecue products, appeared sufficiently great to provide this demand.

### **(c) Management of mature stands**

To answer the question about the most important factors that influence the growth of mature *Prosopis* stands, various treatments were applied to mature *Prosopis glandulosa* in Texas (Patch & Felker, 1997a). It was of interest to know whether competition from other species of woody vegetation, competition from other *Prosopis*, or fertilizer deficits would be most limiting to growth of mature *Prosopis*. As *Prosopis* is a nitrogen fixing plant, and as phosphorus is often the most common limiting nutrient for N fixation, the fertilizer treatment was composed of a 100 kg P/ha application. Five treatments (control, thinning, understory removal, understory removal plus herbicide resprout treatment and phosphorus fertilizer treatments) were applied to 4 replicates of 30 m by 30 m plots. Growth was estimated with dendrometers installed at the base of 20% of the trees. When volume and biomass growth were expressed as a percentage of initial basal area (to correct for differences in stocking rate), some treatments were significantly different. As can be seen in Figure 1, the greatest stimulation of growth resulted from the removal of the understory brush. The understory removal + thinning + herbicide + fertilizer treatment had the greatest mean percent weight growth (28.3%, SD=3.0647) and percent volume growth (34.9%, SD=3.9790) over the nine-year time period, and was significantly ( $P=0.0001$ ) different from the control percent weight (11.1%,  $n=4$ , SD=0.5315) growth and control volume (13.3%,  $n=4$ , SD=0.7124) growth. Thus it appears as if phosphorus fertilizer is also important for growth of mature *Prosopis* stands. The annual diameter increment for the fertilizer treatment

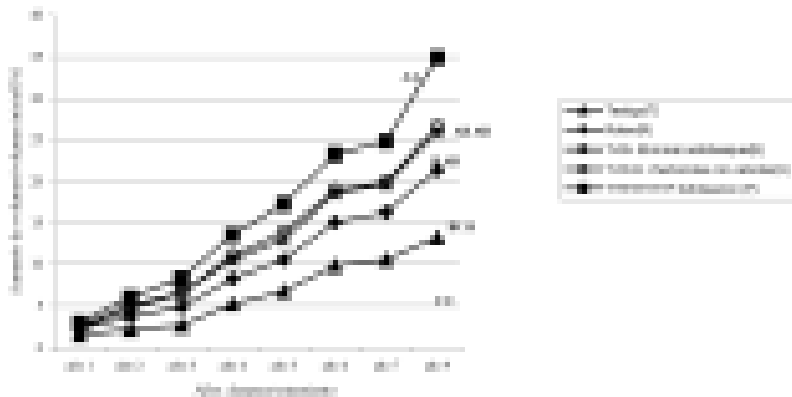


Figure 1. Influence of understory removal, thinning, herbicide treatment and P fertilization on growth of mature *Prosopis glandulosa* stands in Texas

Figura 1. Influencia de la remoción del sotobosque, aclareo, tratamiento con herbicida y fertilización con P sobre el crecimiento de macizos maduros de *Prosopis glandulosa* en Texas

was  $0.27 \text{ cm year}^{-1}$ ,  $n=4$ ,  $SD=0.898$ , which is comparable with other mature commercial hardwood forests.

#### (d) Management of immature stands

A second field study examined factors influencing growth of immature ( $< 4 \text{ cm}$  diameter), dense ( $>10,000 \text{ stems/ha}$ ) stands of *Prosopis glandulosa* (Patch & Felker, 1997b).

As opposed to *Prosopis alba* and somewhat similar to *P. ruscifolia*, *P. glandulosa* can colonize abandoned pastures with very high plant densities. The goal of this research was to evaluate silvicultural/agroforestry techniques for their potential in maximizing lumber production while minimizing the weed problems with *Prosopis glandulosa*. The control plot was not manipulated. All the other treatments included above-ground removal of all the trees (with a 225 kW swath harvester described above) except for crop trees that were located in 2 m by 2 m squares on 10 meter centers. To prevent reestablishment of *Prosopis* in the interstitial areas, treatments were examined that included spot sprayed with herbicides, disking or disking and seeding with rye grass. In three of the treatments the crop trees were pruned to a single stem. A randomized complete block design was used with 4 replicates and 6 treatments. At both the 2.5- and 9-year evaluation, significant treatment differences were found for growth of basal diameter; growth of basal area; and growth of dry weight (Figure 2). The greatest crop tree growth occurred in treatments that were pruned with interstitial

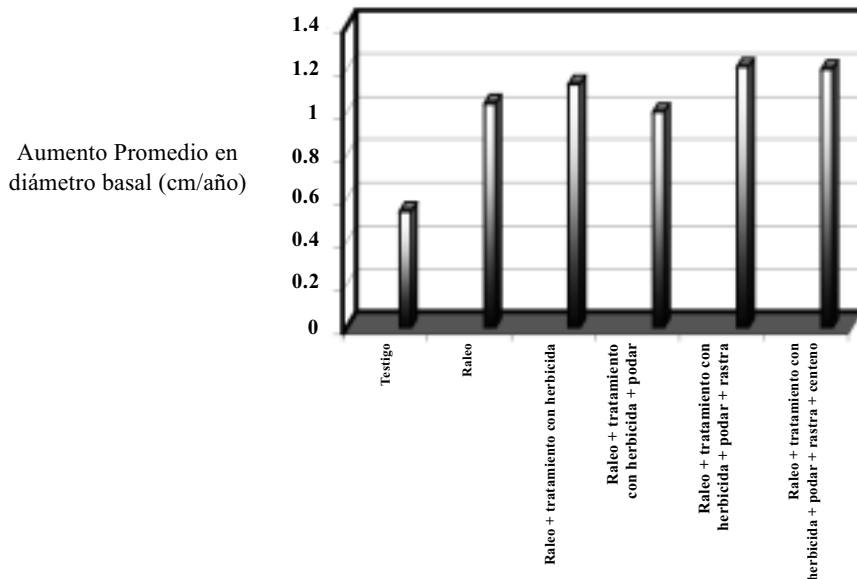


Figure 2. Influence of thinning, pruning and intercropping on growth of sapling *Prosopis glandulosa* in Texas

Figura 2. Influencia del aclareo, poda e intercultivo sobre el crecimiento de árboles jóvenes de *Prosopis glandulosa* en Texas

competition suppressed. Mortality was greatest in the dense control treatment, while reestablishment of mesquite was greatest in the more open treatments. The greatest basal diameter growth of  $1.21 \text{ cm year}^{-1}$  in the disked and pruned treatments was comparable to other fine hardwoods in temperate and dry tropical forests.

## II Plantation establishment

### (a) Effect of soil working on growth

As the vast majority of arid lands do not have irrigation water available for growth of tree crops, and as irrigation is by far the most costly input into arid “agriculture”, all of our work has focused on maximizing the efficiency of utilization of rainwater. The extensive French work over many decades in managing soil moisture for annual crop plants in Sahelian West Africa is particularly relevant to managing soil moisture for *Prosopis* plantings. Nicou (1986) reported on the effect of soil working on bulk porosity, root biomass, and above ground biomass of nearly 250 trials with dryland cereals, groundnuts and cotton in Africa. Nicou (1986) reported significant linear correlations

between increased soil porosity and root density, weight of vegetative aerial parts and grain yields of these crops. He also reported “most field trials examining soil physical properties and tree growth have revealed the superiority of subsoiling over hole digging”.

### **(b) Effect of seedling container geometry on growth and survival of *Prosopis***

This work was confirmed by Felker *et al.* (1987) in a study of survival and growth of *Prosopis* seedlings as a function of container type and planting method. After 9 months growth, seedlings that were planted with a subsoiler had 235% of the biomass of seedlings planted in a hole made by hand. In a dry year, a 25% survival advantage (with 100% survival) was obtained with 3.8 by 3.8 by 38 cm cardboard containers that were left on at transplant, versus seedlings grown in a 20 cm long, 4.0 cm diameter plastic tube that was removed at transplant.

### **(c) Effect of mechanical and chemical weed control on growth and survival of *Prosopis***

Considering the fact that conservation of 1 mm of rainfall per hectare is equivalent to 10,000 liters of water or 100 liters per tree (at density of 100 trees/ha), the advantages of controlling competing vegetation are obvious. A combination of both mechanical and chemical weed control is most useful. Mechanical control is more economical but not always possible when intensive rains stimulate dense weed growth while the soil is too wet to permit entry of tractors and cultivators.

Our strategy in developing chemical weed control techniques was to identify short residual, low-plant toxicity herbicides for preplant and the first 60 to 90 days after transplant, and then to use longer-residual, inexpensive herbicides (for which patent protection had expired) 90 days after transplant (Felker *et al.*, 1986). Trials in 1983 and 1984 examined 12 combinations of cultivation (single row sweep cultivator) and herbicides for survival and growth of *Prosopis*. Figure 3 shows a fivefold difference in growth of the trees as a function of weed control. By simply providing weed control with a sweep cultivator a 300% increase in biomass was observed. The herbicides linuron, diuron and oryzalin provided the best growth. Oryzalin, a chemically similar herbicide to trifluralin (Treflan) has the advantage of not having to be incorporated. Unfortunately oryzalin is not available in Argentina. As diuron is readily available and inexpensive (about \$10/kg or \$15/ha at the 1.4 kg active ingredient dose) it is a herbicide of choice. In fields where particularly troublesome perennial weeds such as *Sorghum halepense*, *Cynodon dactylon* or solanum species were present, the more expensive herbicide, norflurazon (\$25/kg), could be used at high doses to control these weeds for extended periods (Felker *et al.*, 1986). While herbicides are often criticized as being too expensive and not appropriate for developing countries, it is important to point out that manual weeding of plantations even with Argentine labor

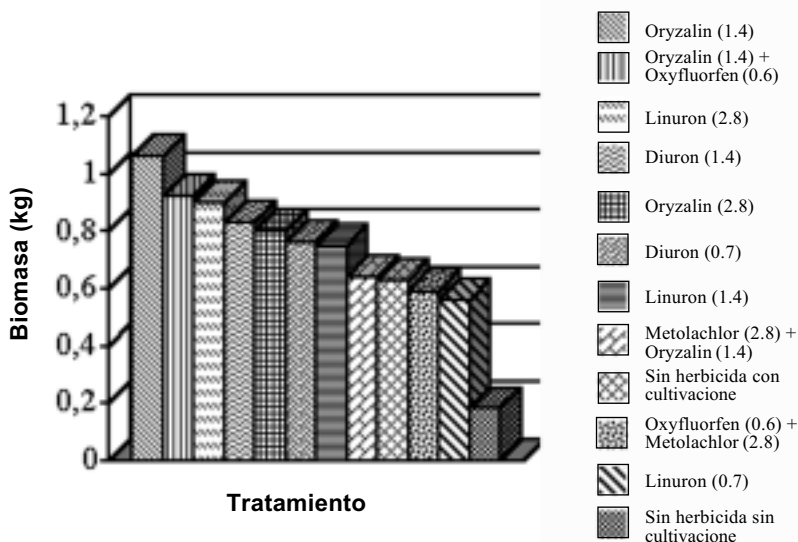


Figure 3. Influence of mechanical and chemical weed control on growth of *Prosopis alba*  
 Figura 3. Influencia del control mecánico y químico de malezas sobre el crecimiento de *Prosopis alba*

rates as low as \$15/day are not competitive with herbicides. Furthermore herbicides free the small farmer for other tasks and provide weed control when it is not possible to enter the field due to adverse moisture conditions.

#### (d) Fertility influences on growth of *Prosopis*

Due to the extensive occurrence of alkaline soils in arid regions, and the decreasing availability of phosphorus and the trace elements, Fe, Zn, Mn and Cu with increasing pH, Cline *et al.* (1986) examined growth and leaf tissue levels of *P. alba* as a function of increasing pH. This study was conducted in the greenhouse and used calcium hydroxide to change the pH from 6.5 to 8.9. At the highest pH of 8.9, addition of micronutrients was essential to growth of *Prosopis*. At this high pH, without micronutrients, the dry weight decreased from 4.5 to 2.1 g while the leaf sodium content increased from 0.46 % to 1.9%. This suggested that micronutrients were important in sodium exclusion processes for *Prosopis*. These authors suggested that the following nutrient concentrations might be useful as minimum levels for *P. alba* leaves: N-3.0%, P-0.16%, K-1.2%, Ca-1.2%, Mg-0.23%, Fe-130 mg/kg, Mn-70 mg/kg, Zn-27 mg/kg, Cu- 17 mg/kg and leaf Na levels below 0.8%.

Cline *et al.* (1986) found a highly significant correlation between leaf P and leaf N that had a slope of nearly 6 to 1 and 36 to 1 for N/P and protein/P respectively,

suggesting that small P increments would greatly stimulate crude protein production. This is to be expected from the stimulating effect of P on N fixation. Geesing *et al.* (2000) found a similar regression between N and P for mature trees, but the slope was not as great (Figure 4).

In a study of N fixation in mature trees, Lopez-Villagra *et al.* (1997) found a highly significant inverse relationship between tree size and the percentage of nitrogen of the tree that was derived from N fixation. This they attributed to inhibition of N fixation with increasing soil nitrogen build up as the trees became older. Geesing *et al.* (2000) confirmed this relationship and found highly significant negative correlations between soil nitrate levels under the canopy and the percentage of tree N derived from N fixation.

### III Cloning and genetic improvement of *Prosopis alba*

California progeny trials in the late 70's (Felker *et al.*, 1983) identified elite families and clones of *Prosopis alba*. When one of these clones was combined with the site preparation, seedling containers, weed control and fertility package described above, a standing biomass of 39 dry ton/ha was obtained in the third year with no supplemental water in any part of the process (Figure 5) (Felker *et al.*, 1989). The third year's growth in this study was 20 ton/ha. The mean diameter growth was 2.5 cm/yr. These authors attributed half of the excellent growth to intensive dryland management tech-

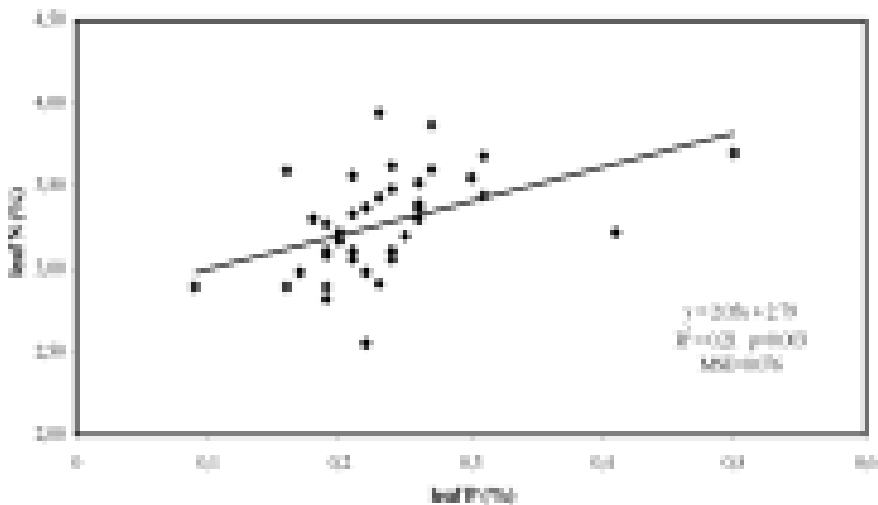


Figure 4. Correlations between leaf N and leaf P among *Prosopis glandulosa* stands in Texas.  
 Figura 4. Correlaciones entre N y P foliar sobre *Prosopis glandulosa* en Texas



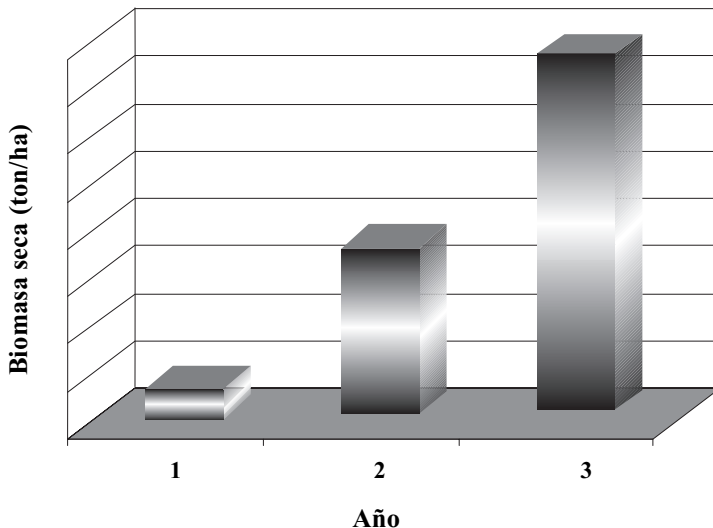


Figure 5. Biomass production of non-irrigated *Prosopis alba* clone B2V50 in Texas  
 Figura 5. Producción de biomasa de *Prosopis alba* clon B2V50, sin riego, en Texas

niques and half to genetic improvement. This clearly demonstrates that *Prosopis alba* has the potential to be a highly productive plantation species.

Twenty years after the first *Prosopis alba* clones were made for high biomass production, the first multipurpose “Agroforestry type *Prosopis alba* clones” were made in Argentina (Figure 6) (Felker *et al.*, manuscript in review). This cloning process took advantage of a 10 year old progeny trial of 57 *Prosopis* half-sib families. Since pod production is important in both human and livestock applications, the selection criteria also included pod criteria for both production and sensory analysis. The sensory analysis was important as some pods have bitter/astringent flavor components (in addition to the approximate 30% sucrose concentrations). A food chemistry group consisting of G. Fabiani, H. Boggetti, B. Mishima and P. Felker at the Universidad Nacional de Santiago del Estero is working to identify this compound. As can be shown in Figure 6 less than 1% of the trees that were planted were cloned.

To accomplish the cloning, scions from the mother trees were first grafted onto common rootstock to revert the tissue to a juvenile state. Cuttings were then taken from the clonal stock plants and are in the process of being multiplied by rooted cuttings. M. Ewens of the Universidad Católica de Santiago del Estero has recently made excellent progress in rapidly grafting 1.5 mm diameter, 30-day-old *Prosopis alba* seedlings (Felker *et al.*, 2000). In one to two years, small commercial quantities of the new

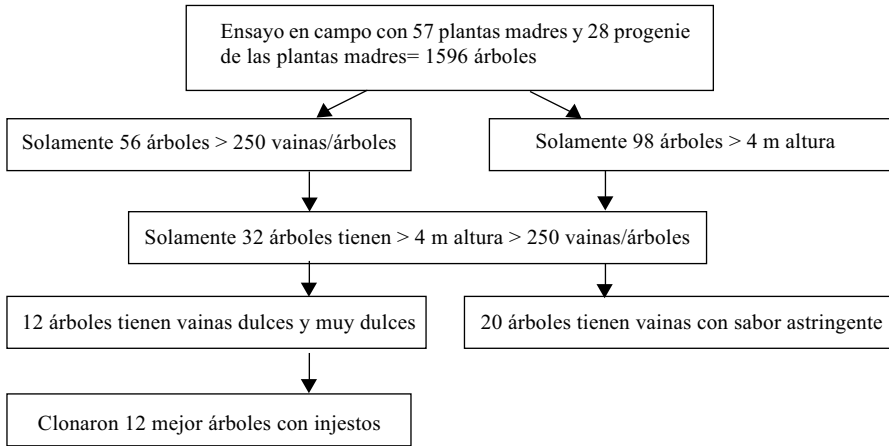


Figure 6. Strategy for selection and cloning of multipurpose *Prosopis alba* for agroforestry applications  
 Figura 6. Estrategia para la selección y clonación de *Prosopis alba* multiple propósito para aplicaciones agroforestales

grafted seedlings should be available. In about 5 years, seeds from a clonal seed orchard of these 12 clones should also be available.

## BIBLIOGRAPHY

- CLINE, G., P. FELKER & D. RHODES, 1986. Micronutrient, phosphorus and pH influences on growth and leaf tissue levels of *Prosopis alba* and *Prosopis glandulosa*. *Forest Ecology and Management* 16:81-93.
- EL FADL, M. A., S. GRONSKI, H. ASAH, A. TIPTON, T. E. FULBRIGHT & P. FELKER, 1989. Regression Equations to Predict Fresh Weight and Three Grades of Lumber from Large Mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) in Texas. *Forest Ecology and Management* 26:275-284.
- FELKER, P., G. H. CANNELL, P. R. CLARK, J. F. OSBORN & P. NASH, 1983. Biomass production of *Prosopis* species (mesquite), *Leucaena*, and other leguminous trees grown under heat/drought stress. *Forest Science* 29:592-606.
- FELKER, P., D. SMITH & C. WIESMAN, 1986. Influence of chemical and mechanical weed control on growth and survival of tree plantings in semi-arid regions. *Forest Ecology and Management* 16:259-267.
- FELKER, P., C. WIESMAN & D. SMITH, 1987. Comparison of seedling containers on growth and survival of *Prosopis alba* and *Leucaena leucocephala* in semiarid conditions. *Forest Ecology and Management* 24:177-182.

- FELKER, P., D. SMITH, C. WIESMAN & R. L. BINGHAM, 1989. Biomass production of *Prosopis alba* clones at 2 non-irrigated field sites in semiarid south Texas. *Forest Ecology and Management* 29:135-150.
- FELKER, P., J. M. MEYER & S. J. GRONSKI, 1990. Application of self-thinning in mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) to range management and lumber production. *Forest Ecology and Management* 31:225-232.
- FELKER, P., R. A. MCLAUCHLAN, A. CONKEY, & S. BROWN, 1998. Case study: Development of a swath harvester for small diameter (<10 cm) woody vegetation. *Biomass and Bioenergy* 17:1-17.
- FELKER, P., M. EWENS & H. OCHOA, 2000. Environmental influences on grafting success of *Prosopis ruscifolia* (vinal) onto *Prosopis alba* (algarrobo blanco). *Journal of Arid Environments*, in press
- FELKER, P., 2000. An investment based approach to *Prosopis* agroforestry in arid lands. *Annals of Arid Zone* 38: 383-395.
- GEESING, D., P. FELKER & R. L. BINGHAM, 2000. Influence of mesquite (*Prosopis glandulosa*) on soil nitrogen and carbon development: Implications for global C sequestration. *Journal of Arid Environments*, in press
- LOPEZ-VILLAGRA, G. M. & P. FELKER, 1997. Influence of understory removal, thinning and P fertilization on N<sub>2</sub> fixation in a mature mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) stand. *Journal of Arid Environments* 36: 591-610.
- NICOU, R., 1986. Influence of soil ploughing on soil physical properties and growth of annual crops in semiarid West Africa: Relevance to tree planting. *Forest Ecology and Management* 16: 103-115.
- PATCH, N. L. & P. FELKER, 1997a. Influence of silvicultural treatments on growth of mature mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) nine years after initiation. *Forest Ecology and Management* 94: 37-46.
- PATCH, N. L. & P. FELKER, 1997b. Evaluation of silvicultural treatments of sapling mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) to optimize timber and pasture improvement nine years after initiation. *Forest Ecology and Management* 96: 231-240.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000





# PLAGAS EN *PROSOPIS*

## *INSECT PESTS IN PROSOPIS*

VILMA MAZZUFERI

Fac. Cs. Agropecuarias, Univ. Nac. de Córdoba  
vimazzu@agro.uncor.edu

### RESUMEN

Los algarrobos, como otras especies vegetales cultivadas o espontáneas, están sometidos a diversos factores adversos. Entre estos factores se encuentran los insectos que, en determinadas circunstancias, producen pérdidas económicamente importantes. En la actualidad, y dado el auge que ha tomado el género *Prosopis*, al hablar de plagas inséctiles debemos hacer referencia a tres situaciones diferentes: 1) plagas en ecosistemas forestales, 2) plagas en plantaciones especializadas (viveros, huertos y semilleros), 3) plagas en plantaciones o bosques urbanos. En este trabajo se mencionan estudios sobre insectos fitófagos de hábitos filófagos, xilófagos y seminófagos, aspectos de su biología, comportamiento y medidas de control. Se incluye un listado de trabajos realizados por diferentes investigadores sobre este tema.

Palabras clave: Filófagos, xilófagos, biología, control.

### SUMMARY

*The mezquites, like other cultivated or spontaneous plant species, grow under various adverse factors. Insect pests, among these factors, can produce severe economic losses. As the genus Prosopis is becoming more and more important, the studies on its pest occurrence and control have increased. At present, three different situations should be taken into account: 1) pests in natural ecosystems, 2) pests in nurseries and orchards, 3) pests in plantations or urban forests. Studies on phyllophagous, xylophagous and seed feeder insects are described in this paper, with special reference to*

*their biology, behaviour and control. Also a list of research studies on this matter is included.*

*Key words: Phyllophagous, xylophagous, biology, control.*

## INTRODUCCIÓN

Los algarrobos, como otras especies vegetales cultivadas o espontáneas, están sometidos a diversos factores adversos. Entre estos factores se encuentran los insectos que, en determinadas circunstancias, producen pérdidas económicamente importantes.

## Antecedentes

Hasta ahora se han realizado diversos trabajos sobre el tema:

En Santiago del Estero, las valiosas investigaciones sobre insectos xilófagos llevadas a cabo por el Dr. Dante Fiorentino y la Dra. Liliana Diodato y su grupo de trabajo.

1988 “Contribuciones al conocimiento de la biología de *Criodion angustatum* Buquet (Coleoptera: Cerambycidae), plaga del algarrobo negro”

1988 “*Torneutes pallidipennis* Reich 1837 (Coleoptera: Cerambycidae), taladro de *Prosopis*”.

1995 “Coleópteros cerambícidos xilófagos del Parque Chaqueño Seco (Argentina)”.

1997 “Biología y evaluación de los daños producidos por *Criodion angustatum* Buquet y *Torneutes pallidipennis* Reich (Coleoptera: Cerambycidae) en *Prosopis nigra* (Gris) Hieron. En Santiago del Estero (Argentina).

Desde Buenos Aires, el Dr. Osvaldo Di Iorio ha identificado numerosas especies de Coleópteros Cerambycidos que están presentes en las diversas especies de *Prosopis* y ha hecho una detallada descripción de tipos de galerías, cámaras pupales, etc.

Di Iorio, O.1994 “Cerambycidae y otros Coleópteros emergidos de ramas cortadas por *Oncideres germari* (Lamiinae: Onciderini) en el norte argentino”

Di Iorio, O.1996 “ Torneutini (Coleoptera: Cerambycidae) of Argentina. Part I. Their relation to the “South American area of *Prosopis* L.” and to the xerophilous Acacia Miller (Mimosaceae)”.

Di Iorio, O.1997 “Plantas hospedadoras de Cerambycidae (Coleóptera) en el noreste de Argentina”.

Di Iorio, O. 1997 “Plantas hospedadoras y biogeografía de Cerambycidae (Coleóptera) del noroeste y centro de la Argentina”.

En Córdoba, con el Ing. Rubén Coirini comenzamos a hacer observaciones sobre *Torneutes pallidipennis* en el Chaco Árido de Córdoba en el año 1989, y recientemente con la señorita Ana Córdoba, hemos evaluado el efecto de la condición de sitio sobre el grado de infestación de esta especie.

Mazzuferi, Coirini, Brewer. 1989. "Estudio preliminar de los taladros que afectan los algarrobos del Chaco Árido de Córdoba".

Córdoba, Mazzuferi, Coirini, Casanoves. 2000. "Efecto de la condición de sitio en el grado de infestación de *Torneutes pallidipennis* Reich (Coleoptera: Cerambycidae) en algarrobos negros del Chaco Árido de Córdoba, Argentina. Perspectivas de manejo fitosanitario".

En Tucumán, el Ing. Arturo Terán ha contribuido a la identificación de insectos seminófagos pertenecientes a la familia Bruchidae, y ha señalado aspectos de su biología.

Terán, A. 1962. "Observaciones sobre Bruchidae del Noroeste Argentino".

Terán, A. 1967. "Observaciones sobre las estructuras genitales de los machos de diversos géneros de Bruchidae (Coleoptera).

Terán, A. 1995. "Caracteres morfológicos de los genitales e identificación de las hembras del Género *Scutobruchus* Kingsolver, 1968 (Coleoptera: Bruchidae).

Desde Jujuy, la tesis doctoral de la Dra. Susana Muruaga sobre la identificación en base a estados juveniles, hospederos y biología de las diferentes especies de Bruchidae que pueden infestar las semillas de *Prosopis*.

Muruaga, S. 1986 "Especies de Bruchidae (Coleoptera) asociadas con semillas de *Prosopis* (Leguminosae) en el NOA. Morfología y biología de los estadios preimaginales".

En Córdoba, nosotros evaluamos distintos tratamientos físicos y químicos para el control de estos insectos:

Mazzuferi, Cragolini, Argüello. 1991. "Cold treatment as a method of insect control and its effect on germination and vigour in *Prosopis chilensis* seeds".

Mazzuferi, Ingaramo, Joseau. 1994. "Tratamiento de calor para el secado de frutos y el control de insectos en *Prosopis chilensis*".

Mazzuferi, Novo. 1999. "Efectividad de la fosfamina en los tratamientos de frutos de *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz para el control de Bruchidae que infestan las semillas y su incidencia sobre la calidad".

Por supuesto, no olvidamos los aportes del Ing. Orrego Aravena de La Pampa y del Dr. Brucher de Córdoba, entre otros.

## DESARROLLO

El término *plaga* es una designación antropocéntrica, que en este caso aplicamos a ciertos insectos forestales cuando afectan los valores ecológicos, económicos y sociales relacionados con los algarrobos.

Esto es tan evidente en *Prosopis* que en una publicación de la Revista Forestal Argentina del año 1966, el Ing. Santoro, al referirse a los principales insectos que afectan a las especies nativas en la silvicultura argentina, dice que “hasta el momento no se tiene conocimiento de que hayan sufrido daños comprobados de importancia”. Veinte años después, con el auge que toma el género *Prosopis*, el Dr. Fiorentino y la Dra. Diodato dan cuenta de la importancia de los daños producidos por dos especies de insectos xilófagos en los algarrobos de Santiago del Estero.

En la actualidad, al hablar de plagas en *Prosopis* debemos hacer referencia a tres circunstancias o situaciones diferentes: a) cuando nos referimos a plagas que afectan a los árboles en el monte o a ecosistemas forestales, b) cuando hacemos referencia a plantaciones especializadas como viveros, huertos y semilleros, y 3) plagas en plantaciones o bosques urbanos.

Por otra parte, no podemos dejar de mencionar que también tenemos importantes plagas que afectan a productos y estructuras de madera.

En base a las consultas más frecuentes, voy a hacer referencia a insectos fitófagos de hábitos folívoros o filófagos, insectos xilófagos y seminófagos.

### **a) Insectos filófagos o folívoros**

Entre los insectos que se comportan como filófagos o folívoros, podemos hacer mención a orugas defoliadoras del orden Lepidoptera pertenecientes a diferentes familias.

Dentro de la familia Noctuidae, el género *Melipotis* comprende especies cuyas larvas se alimentan durante la noche y en el día permanecen protegidas bajo la corteza de los árboles. Las larvas de este género presentan un escudo fuertemente quitinizado ubicado en el último segmento abdominal. Según Bobadilla y otros, este escudo es una ventaja adaptativa para las larvas, que al buscar refugio en las hendiduras del tronco quedan con el extremo posterior expuesto al aire y a los enemigos naturales. También es una protección contra el efecto lacerante de las espinas de *Prosopis*, en la eventualidad que la larva deba retroceder ante obstáculos o enemigos naturales. Una de las especies pertenecientes a este género es *Melipotis ochrodes* (Guenée). Este insecto fue citado sobre diversas especies de *Prosopis* en Puerto Rico en el año 1936 y en Chile en el año 1987. Nosotros detectamos la presencia de *M. ochrodes* en el año 1999 en la localidad de Chancaní, Pcia. de Córdoba. Esta especie fue determinada por el Dr. Fernando Navarro del Instituto Miguel Lillo de Tucumán, y según este investigador sería la primer mención de *M. ochrodes* sobre *Prosopis* en la Argentina.



Otras orugas de hábito defoliador pertenecen a la familia Geometridae. Estas larvas se caracterizan por presentar solo dos pares de espuripedios o patas falsas. Se diferencian de las larvas de *Melipotis* no solo por el aspecto morfológico sino también por su comportamiento. Las larvas de Geometridae, en general, permanecen en el follaje durante el día, quedando expuestas a los enemigos naturales de hábitos diurnos, ya sea depredadores como aves e insectos, y parasitoides.

Hasta ahora, no hemos determinado a qué géneros y especies pertenecen los geométridos que se encuentran en nuestra zona. En trabajos de hace ya unos años se cita la especie *Nephodia marginata*, llamada vulgarmente isoca cuarteadora, produciendo fuertes defoliaciones en Salta, en las localidades de Cafayate y San Carlos.

Pero la verdadera vedette entre las defoliadoras es, sin lugar a dudas, un microlepidóptero de la familia Gelechiidae, llamado vulgarmente “pegador de hojas”. Las larvas de este insecto pegan los folíolos con seda y se alimentan del parénquima, en consecuencia los folíolos se secan y caen. Una vez que completó su desarrollo larval une folíolos a los que recubre con seda y pasa al estado de pupa para, posteriormente, emerger como una pequeña mariposa de unos 3 mm. Nosotros detectamos su presencia desde mediados de octubre de 1999 en varias localidades de la provincia de Córdoba, llegando hasta la provincia de La Rioja. En el año 2000, nuevamente se observaron fuertes infestaciones de este insecto y pudimos comprobar que además de defoliar, daña también las inflorescencias, lo que ha sembrado honda preocupación entre los apicultores que producen miel de monte. Además, ha ampliado asombrosamente su área de infestación. En Córdoba, ha sido detectada tanto en la ciudad capital como en distintas localidades del interior. Este microlepidóptero, según la determinación realizada por el Dr. Fernando Navarro de Tucumán, pertenece al género *Polihymno* y posiblemente sea la especie *P. luteostrigella* Chambers, y al igual que *M. ochrodes*, ésta sería la primera cita de esta especie afectando algarrobos en nuestro país.

De acuerdo con lo señalado por los investigadores chilenos Bobadilla, Cortés y Vargas (1987), las fuertes infestaciones de este microlepidóptero estarían relacionadas con el estado nutricional de los árboles y con un fenómeno fisiológico denominado “efecto trófico”. Según estos autores, éste se caracteriza por un aumento de los aminoácidos libres en las vacuolas de las células de brotes y hojas. El mayor contenido de nitrógeno en los folíolos de las hojas, que es un mecanismo de ajuste osmótico, optimizaría la dieta de las larvas estimulando la fecundidad y mejorando la viabilidad. Así, los algarrobos se volverían más susceptibles al ataque del pegador de las hojas.

## **b) Insectos xilófagos**

Otro grupo muy importante por el hábito alimentario de sus larvas es el de los insectos xilófagos. Numerosas son las especies xilófagas, principalmente de la familia Cerambycidae, citadas sobre *Prosopis*.

No obstante, como señalan el Dr. Fiorentino y otros (1995, 1997), “para determinar cuáles son los insectos que tienen incidencia negativa en el bosque, es necesario conocer en primer lugar cuáles son los que producen mayores daños, es decir, establecer un orden prioritario de importancia”.

Hasta ahora, de los estudios realizados en el Chaco Árido, dos son las especies “acusadas” de producir los mayores daños: *Criodion angustatum* Buquet y *Torneutes pallidipennis* Reich.

Ambas especies infestan árboles en pie, no debilitados, produciendo daños considerables en el duramen, por lo que se constituyen en factores que inciden negativamente en el aprovechamiento industrial de la madera, produciendo una importante desvalorización del recurso algarrobo.

La diferencia en su comportamiento radica en que *T. pallidipennis* concentra su ataque principalmente en las ramas, mientras que *Criodion* lo hace en el fuste.

El Dr. Fiorentino y su equipo de investigadores (1995, 1997) hacen la siguiente descripción sobre la biología, comportamiento y síntomas producidos por estas especies:

“... las infestaciones de *Criodion angustatum* se concentran principalmente en el fuste, desde la base del árbol hasta la primera bifurcación. Las hembras, dotadas de un poderoso ovipositor esclerotizado que pueden extender hasta 6 cm de longitud, colocan los huevos debajo de la corteza a partir de grietas naturales, introduciéndolos a presión hasta el floema. Las larvas neonatas atraviesan el floema introduciéndose en la albura. Después de permanecer un tiempo en esta zona, pasan al duramen al que dañan dirigiéndose hacia abajo y hacia arriba, produciendo numerosas galerías que se distribuyen en toda la longitud del fuste. Allí alcanzan su máximo desarrollo (presumiblemente en dos años) y pasan el estado de pupa en una cámara pupal. Los imagos abandonan los árboles desde mediados de octubre hasta febrero, en alturas que varían desde los 12 cm hasta los 2 metros a partir de su base, efectuando un orificio ovoide de 3 a 4 cm en su diámetro mayor y de 2 a 2,5 cm en su diámetro menor.

”La actividad de las larvas en sus primeros estadios produce una copiosa exudación de savia y aserrín, observándose un líquido oscuro que chorrea por la corteza. Las larvas de últimos estadios además de aserrín producen virutas finas que son expulsadas al exterior por entre las grietas naturales de la corteza. En el lugar donde la actividad de los insectos es mayor, además de la rotura de la corteza que rodea este sector, se origina un abultamiento del fuste. Probablemente este fenómeno sea producido por el derrame de la savia hacia el duramen, que provocaría un hinchamiento de la madera a niveles superiores del que puede soportar la corteza.

”La hembra de *T. pallidipennis*, que actúa en la copa, efectúa una incisión circular en ramitas de 0,5 a 1 cm de diámetro. Allí coloca un huevo de donde, al poco tiempo, emerge una larvita que se introduce en la médula y comienza a alimentarse. La larva de *Torneutes* se caracteriza por realizar galerías longitudinales descendentes; de esta galería principal la larva realiza una pequeña galería oblicua por donde expelle el aserrín, dejando limpio el canal por donde ella se desplaza. Estas “galerías de limpieza” se visualizan exteriormente como pequeños orificios de 2 a 5 mm de diámetro en la corteza, observándose, además, aserrín acumulado sobre ramas y en el

suelo. Además, al efectuar estas galerías de limpieza, perforan el floema y provocan el derrame de savia que se mezcla con el aserrín expulsado. Finalizado su desarrollo larval pasan al estado de pupa. Los adultos salen al exterior por aberturas elipsoidales situadas por lo general en la zona de mayor diámetro de la rama”.

En los estudios realizados en la región del Chaco Árido de Córdoba en el año 1989, se determinó que el 66% de los árboles estaban infestados por *Torneutes pallidipennis*, observándose que aquellos ejemplares con un DAP menor a 15 centímetros y provenientes de semilla no mostraban signos de infestación. En evaluaciones recientes, el porcentaje de árboles infestados fue notoriamente menor, debido posiblemente a un predominio de ejemplares jóvenes.

Es de destacar que las infestaciones de *Torneutes* y de *Criodion* alteran la resistencia mecánica de los árboles, lo que provocaría el vuelco de ejemplares jóvenes para el caso de *Criodion*, o la caída de ramas por acción de fuertes vientos en el caso de *Torneutes*.

¿Qué alternativas tenemos para contrarrestar las infestaciones de estos insectos? ¿Qué medidas de control podemos llevar a cabo, particularmente cuando hacemos referencia a este tipo de problemas en un ecosistema forestal? Nosotros hemos realizado estudios tratando de vincular el grado de infestación de *T. pallidipennis* con las condiciones de sitio, relacionando ese grado de infestación con densidad arbórea y cobertura vegetal. Hemos encontrado que la infestación de *T. pallidipennis* es independiente de la densidad arbórea, pero determinamos una relación inversa entre el grado de infestación y la cobertura herbácea. La menor cobertura herbácea sería un indicador del nivel de degradación de un sitio. En sitios degradados cabría esperar una mayor infestación de *T. pallidipennis*. Es decir, que la cobertura herbácea sería una herramienta predictiva con relación a la infestación de *T. pallidipennis*. Por eso vamos a seguir investigando y a sumar a la condición de sitio la influencia de las prácticas de manejo en la infestación de este insecto.

### **c) Insectos seminófagos**

Los más importantes, tanto por el número de individuos como el de especies involucradas, es sin lugar a dudas el de los coleópteros de la familia Bruchidae. Las semillas de *Prosopis* son consumidas por los estadios juveniles de diferentes especies de esta familia, pertenecientes a los géneros *Acanthoscelides*, *Pectinibruchus*, *Rhipibruchus* y *Scutobruchus*.

Respecto a su biología y comportamiento, estos insectos comparten las siguientes características:

A comienzos de primavera, los adultos (que pasaron el invierno protegidos dentro de las semillas que les sirven de hospederos o bajo la corteza de los árboles) comienzan a activarse. Después de la cópula, la hembra recorre los frutos tanteándolos con sus palpos. Según la Dra. Muruaga (1986), esto sugiere un reconocimiento previo del

hospedero, además de una estimulación mecánica y química que actúa como factor desencadenante de la oviposición.

Una vez que la hembra ha seleccionado el lugar adecuado (2 a 3 horas después de la cópula) coloca sus huevos en el exterior de los frutos o en su interior a través de orificios, ya sea practicados por ella misma con sus mandíbulas o los dejados por los adultos al salir (tal el caso de *Acanthoscelides* y *Scutobrachus*). El número de huevos colocados por cada hembra a lo largo de un período de entre 4 y 8 días, oscila entre 10 y 75. Al cabo de 5 a 23 días, según las condiciones ambientales, aparece la larva de primer estadio, oligópoda, que es la encargada de llegar hasta la semilla que le sirve de alimento. Esta atraviesa el epi, meso y endocarpio hasta llegar a la semilla. Una vez que logra perforar el tegumento se aloja en los cotiledones y muda para transformarse en una larva ápoda, curculioniforme.

Se cumplen en total 5 estadios larvales durante un período que oscila entre 25 y 126 días según las condiciones ambientales.

A medida que crece dentro de la semilla, la larva forma un túnel que luego ensancha para formar una celda. Una vez que completa su desarrollo, se prepara para pasar al estado de pupa. Pero antes que esto ocurra despeja y ensancha el área de la celda más cercana al exterior, dejando sólo una delgada capa del tegumento que forma una “ventana circular”. A partir de la quinta muda la larva se transforma en pupa. Al cabo de un lapso que varía entre 10 y 26 días aparece el adulto, dejando las conocidas perforaciones circulares en las semillas.

En general se cumplen dos generaciones anuales, pero normalmente la segunda termina de completarse en el almacenamiento. Si ese almacenamiento se hace bajo condiciones ambientales favorables para el desarrollo de los insectos ( $T^{\circ}$  entre 23 y 25°C) y mientras dispongan de alimento, estos brúquidos continúan reproduciéndose, destruyendo las semillas completamente.

Por esta razón, es importante reducir la cantidad de insectos en las semillas inmediatamente después de su cosecha y antes de almacenarlas, para preservar su sanidad y calidad durante el almacenamiento.

## **Tratamientos**

Los tratamientos dirigidos al control de plagas de productos almacenados pueden ser curativos o preventivos.

Los tratamientos curativos son necesarios cuando las semillas acusan infestación. Estos tratamientos pueden ser físicos, como uso de altas y bajas temperaturas, o químicos. En este caso se utilizan principalmente productos que generan gases altamente tóxicos y de gran penetración pero de muy poco poder residual, como fosfuro de aluminio o magnesio.

Los tratamientos preventivos son aquellos destinados a proteger las semillas con insecticidas de contacto, que combinan largo poder residual, alta eficacia y baja toxicidad para el hombre.

Con respecto a tratamientos curativos mediante métodos físicos, nosotros hicimos experiencias usando bajas y altas temperaturas. En el tratamiento con baja temperatura, sometimos a semillas de *P. chilensis*, con una humedad inferior al 9%, a 18 grados bajo cero durante 10 días. Luego del tratamiento las semillas se colocaron en cámara de cría a 25 °C durante ocho meses, para observar la emergencia de insectos adultos. Durante este período de observación no se verificó emergencia de insectos de las semillas tratadas.

¿Qué pasó con las semillas sometidas a esta temperatura? Las pruebas de germinación no arrojaron diferencias significativas entre semillas tratadas y no tratadas. Es más, al cabo de dos años de mantener las semillas a 5 °C, se les realizó una prueba de vigor (45 °C durante 72 hs y 100% de humedad). Los resultados obtenidos tampoco arrojaron diferencias entre tratamientos.

También realizamos tratamientos físicos con altas temperaturas. Dado que para trillar los frutos en forma mecánica es necesario secarlos, aprovechamos esta instancia para controlar los insectos. Para ello, sometimos vainas de *P. chilensis* a aumentos paulatinos de temperatura. Comenzamos con 40 °C durante 48 hs, aumentamos a 50 °C por igual tiempo y por último a 60 °C durante 48 hs. Al cabo de siete meses de observaciones, de las semillas tratadas emergieron 146 insectos contra 509 insectos de las semillas testigos. En las pruebas de germinación y vigor, si bien el análisis estadístico arrojó diferencias significativas, ello se debió a un mayor porcentaje de semillas duras en el tratado. Estas semillas duras puestas a germinar, dieron plántulas normales.

Repetimos esta experiencia pero aumentando la temperatura hasta 70 °C. Al cabo de seis meses el número de insectos emergidos de las semillas tratadas era sólo la décima parte de los emergidos de las semillas testigo. Con respecto a la incidencia del tratamiento sobre la calidad de la semilla, los resultados de poder germinativo demuestran que el mismo no afecta su viabilidad ni en forma inmediata, ni luego de 20 meses de almacenamiento a 5 °C.

Una de las observaciones más curiosas de estos tratamientos, es que el uso de altas temperaturas produce un marcado retraso en la emergencia de los insectos que infestan las semillas tratadas en relación a los testigos. Cuando sometimos las semillas hasta 60 °C, la emergencia de insectos de las semillas comenzó a observarse a los dos días de haber colocado las semillas en la cámara a 25 °C, mientras que la emergencia de las semillas tratadas recién comenzó a observarse a los 83 días. En el tratamiento de 70 °C, la emergencia en el testigo comenzó a observarse a los 14 días mientras que en las semillas tratadas recién se comenzó a producir la emergencia a los 151 días.

En las pruebas con fosforo de aluminio, sometimos frutos de *P. chilensis* a dosis de 3 y 6 mg/l de fosfamina durante 4 y 8 días. Los mejores tratamientos fueron los de 3 y 6 m/l con 8 días de exposición. No obstante, aun en el mejor de los casos, la eficiencia de control fue baja (58%). Sobre el grado de control, medido como porcentaje de emergencia, tiene mayor efecto el tiempo de exposición que la dosis empleada. Con relación a las pruebas de calidad (germinación y vigor) en ningún caso los tratamientos afectaron la viabilidad de las semillas.

Con respecto a los tratamientos preventivos destinados a mantener a la semilla libre de infestaciones durante el almacenamiento, evaluamos durante doce meses el comportamiento de dos dosis de mercaptotion, pirimifos metil, pirimifos metil + permetrina y cipermetrina, en el control de *Scutobrachus ceratioborus* en semillas de *P. chilensis*. Cipermetrina tuvo un excelente comportamiento. Para la misma dosis, p. metil + permetrina fue más efectivo en el control de este insecto que pirimifos metil. Además, tanto las dosis bajas como altas de cipermetrina, p. metil, p. metil + permetrina inhibieron la reproducción de *Scutobrachus*, lo cual es muy importante para evitar reinfestaciones. El organofosforado mercaptotion fue poco efectivo en el control de este insecto.

## CONCLUSIÓN

El género *Prosopis* puede albergar a numerosas especies de insectos. En cada circunstancia y lugar habrá que determinar cuáles son aquéllas que tienen incidencia negativa y establecer un orden de importancia. Será necesario ahondar en detalles de su biología, comportamiento, enemigos naturales, influencia de la condición de sitio, de las prácticas de manejo y de las condiciones ambientales.

La eficiencia de las medidas de control que eventualmente se planifiquen dependerá de la correcta oportunidad de aplicación, sincronizada con los momentos de mayor susceptibilidad de la especie plaga.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOBADILLA, D., R. CORTES & H. VARGAS, 1987. *Estudio de insectos que atacan al tamarugo* (*Prosopis tamarugo Phil.*) y *algarrobo* (*Prosopis chilensis (Mol.) Stuntz*). Informe final sobre el proyecto presentado por el contratista, Universidad de Tarapacá, y su unidad ejecutora, Instituto de Agronomía (IDEA), Arica (Chile). 168 pp.
- CÓRDOBA, A., V. MAZZUFERI, R. COIRINI & F. CASANOVES, 2000. Efecto de la condición de sitio en el grado de infestación de *Torneutes pallidipennis* Reich (Coleoptera: Cerambycidae) en algarrobos negros del Chaco Árido de Córdoba, Argentina. Perspectivas de manejo fitosanitario. *Reunión Nacional del Algarrobo – III Reunión Nacional de la Asociación Argentina de Prosopis*. Mendoza – Argentina, 14 al 17 de noviembre de 2000.

- FFOLLIOT, P. F. & J. L. THAMES, 1983. *Recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas de Prosopis en America Latina*. FAO, Roma. 46 pp.
- FIorentino, D. C. & L. DIODATO DE MEDINA, 1988. *Torneutes pallidipennis* Reich 1837 (Coleoptera: Cerambycidae), taladro de *Prosopis*. IV Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero, agosto de 1988 (3): 755-760.
- FIorentino, D. C., V. BELLOMO, L. DIODATO, A. NOTARIO & L. CASTRESANA, 1995. Coleópteros cerambícidos xilófagos del Parque Chaqueño Seco (Argentina). *Bol. San. Veg. Plagas*, 21 (4): 617-626.
- FIorentino, D. C., L. DIODATO, A. NOTARIO & L. CASTRESANA, 1997. Biología y evaluación de los daños producidos por *Criodion angustatum* Buquet y *Torneutes pallidipennis* Reich (Coleoptera: Cerambycidae) en *Prosopis nigra* (Gris.) Hieron. en Santiago del Estero (Argentina). *Bol. San. Veg. Plagas*, 23 (2): 273-281.
- JHONSON, C. D., 1983. *Ecología, control e identificación de insectos del Nuevo Mundo que infestan la semilla de Prosopis (Leguminosae)*. FAO, Roma. 59 pp.
- MAZZUFERI, V., 1988. Breve panorama de plagas insectiles en *Prosopis*. En: "Prosopis en Argentina". Documento preliminar elaborado para el Primer Taller Internacional sobre recurso genético y conservación de germoplasma en *Prosopis*. Fac. de Cs. Agropecuarias, UNC; Fac. de Cs. Exactas, físicas y Naturales, UBA; Div. De Recursos Forestales, Dpto. de Montes, FAO. pp. 305-306.
- MAZZUFERI, V., R. COIRINI & M. BREWER, 1989. *Estudio preliminar de los taladros que afectan los algarrobos del Chaco Árido*. N° de inventario 4952, Biblioteca Facultad de Ciencias Agropecuarias UNC.
- MAZZUFERI, V. & R. COIRINI, 1989. Análisis del daño producido por taladros en el Chaco Árido de Córdoba. *Jornadas Técnicas- Uso múltiple del bosque y sistemas agroforestales*. El Dorado, Misiones, Argentina.
- MAZZUFERI, V., C. CRAGNOLINI & J. A. ARGÜELLO, 1991. Cold treatment as a method of insect control and its effect on germination and vigour in *Prosopis chilensis* seeds. *Seed, Sci. & Technology*, 19, 435-438.
- MAZZUFERI, V., P. INGARANO & J. JOSEAU, 1994 (1995). Tratamiento de calor para el secado de frutos y el control de insectos en *Prosopis chilensis*. *Agris Cientia*, 1994, Vol. XI: 49-53.
- MAZZUFERI, V. & R. NOVO, 1999. Efectividad de la fosfamina en los tratamientos de frutos de *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz para el control de Bruchidae que infestan las semillas y su incidencia sobre la calidad. *Revista Investigación Agrícola* (Chile), 19 (1 y 2): 19-23.
- MAZZUFERI, V., J. ARGÜELLO & R. NOVO, en prensa. Evaluation of protectants for control of *Scutobrachus ceratioborus* (Philippi) (Coleoptera: Bruchidae) in *Prosopis chilensis* (Mol.). *Stuntz seeds*.
- MURUAGA DE L' ARGENTIER, L. S., 1986. *Especies de Bruchidae (Coleoptera) asociadas con semillas de Prosopis (Leguminosae) en el NOA. Morfología y biología de los estadios preimaginales*. Tesis Doctoral, San Miguel de Tucumán, Argentina. 99 pp.
- SANTORO, F. H., 1966. Panorama entomológico relacionado con la Silvicultura y la tecnología forestal en la República Argentina. *Revista Forestal Argentina*, Año X, (2): 53-59.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000







# PRODUCTOS INDUSTRIALIZABLES DE LA ALGARROBA PERUANA (*PROSOPIS PALLIDA*): ALGARROBINA Y HARINA DE ALGARROBA

*INDUSTRIAL PRODUCTS FROM ALGARROBA PERUANA (PROSOPIS PALLIDA): ALGARROBINA AND ALGARROBA FLOUR*

NORA GRADOS, WALTER RUIZ, GASTÓN CRUZ,  
CÉSAR DÍAZ Y JOSÉ PUICÓN

Unidad de Proyectos Ambientales, Universidad de Piura. Apartado 353. Piura - Perú.  
E-mail: ngrados@udep.edu.pe

## RESUMEN

La Universidad de Piura busca promover el desarrollo sostenible de los bosques secos del noroeste del Perú, para lo cual propone, como una de las alternativas, la industrialización del fruto del algarrobo. El mayor valor agregado que se consiga dar a los frutos, además de lograr el desarrollo socioeconómico de estas zonas, contribuirá a frenar la deforestación ocasionada por las condiciones de extrema pobreza.

Son dos los productos industrializables con un gran mercado potencial: **algarrobina** (75-78° Brix) y **harina de algarroba** (tamaño de partícula menor a 0,15mm). Para éstos, se presentan los procesos de obtención, requerimientos de equipos, distribución en planta y costos.

El proceso para la obtención de la algarrobina incluye las siguientes operaciones: selección, lavado, troceado, extracción de azúcares, concentración y envasado. Los equipos básicos para este proceso consisten en lavadora de vainas, troceadora, recipientes de acero inoxidable, prensa mecánica y cocinas para concentración. El rendimiento en producto, respecto a materia prima, es de 34%.

Para la obtención de harina se requiere de las siguientes operaciones: selección, lavado, escurrido, secado, molienda, tamizado y envasado. Los equipos básicos para este proceso consisten en lavadora de vainas, secador estático de bandejas, molino de martillos y tamizador. El rendimiento en harina respecto a materia prima es de 42%.

El análisis de los costos para el proceso de obtención de algarrobina se ha realizado sobre la base de una producción de 10TM/mes, mientras que en el caso de la harina se ha hecho sobre una producción de 6,16TM/mes. De esto resulta un costo de US\$ 1,06/kg para algarrobina y US\$ 1,00/kg para harina.

Los volúmenes de producción están dirigidos a abastecer los grandes programas regionales asistenciales de alimentación, mercado con buenas posibilidades de crecimiento.

El atractivo de los productos está en su calidad nutricional, origen natural y las características curativas que le atribuye la tradición popular. La algarrobina encuentra aplicaciones como edulcorante y saborizante de postres, jugos, yogures, helados, etc. La harina de algarroba se usa mayormente en panadería y pastelería.

Palabras clave: Obtención, uso, rendimiento.

## SUMMARY

*The Piura university promotes the sustainable development of the dry forests of north-eastern Peru, suggesting industrialization of algarrobo fruits.*

*Two products are obtained: algarrobina (75-78° Brix) and algarroba flour (particle size less than 0.15 mm).*

*In algarrobina the rate product-raw material is 34%, and in flour it is 42%.*

*Algarrobina can be used as edulcorant for juices, yogurt, ice creams, etc., while the algarroba flour is used in bakery.*

*Key words: Production, use, yield.*

## INTRODUCCIÓN

Como resultado de varios proyectos de investigación, la Universidad de Piura ha propuesto técnicas de forestación de zonas desérticas con algarrobo y la industrialización de la algarroba como una forma de impulsar el desarrollo socio-económico de la región noroeste de Perú, propiciando así la conservación de los bosques secos de esta región. Actualmente, se cuenta con estudios de caracterización químico-nutricional del fruto y sus distintas partes, así como de tecnologías para producir “nuevos” derivados alimenticios (harinas, sucedáneo de café, polvo soluble, alcohol y proteína unicelular) (Cruz, 1986; Carrión, 1988; La Torre, 1988; Clavijo, 1990; Ruiz, 1997), mientras que por otro lado, se maneja una plantación de 60 ha de algarrobos y un programa de mejoramiento genético de especies forestales del bosque seco (Anónimo, 1999a, 1999b).

El fruto del algarrobo se divide en tres partes: pulpa, semilla y endocarpio. La pulpa representa el 56% del fruto y contiene un 60% de azúcares, de los cuales, el 96% es sacarosa (Grados y Cruz, 1996; Bravo *et al.*, 1994, 1998). Su agradable sabor dulce es

la característica con mayor potencial de aprovechamiento industrial. De hecho, son los azúcares naturales de la algarroba los componentes mayoritarios contenidos en sus alimentos derivados, como la tradicional *algarrobina* y la harina de algarroba.

La algarrobina es un extracto acuoso concentrado de los azúcares de la algarroba, de 75 a 78° Brix, de color marrón oscuro y brillante. Es producido por varias microempresas de la zona y vendido en botellas o potes. Se consume como reconstituyente y fortificante, a manera de medicamento, por cucharadas; asimismo, como saborizante de jugos y de un típico *cocktel de algarrobina*.

La harina de algarroba se obtiene a partir de la molienda de las vainas, utilizando los tamices adecuados, de tal manera que el producto presenta un tamaño de partícula menor a 0,15 mm. Este derivado de la algarroba se ha empezado a comercializar para ser usado como ingrediente de galletas y otros productos de panificación y pastelería.

Los procesos para la producción de algarrobina y harina han sido estudiados en función de obtener un alto rendimiento y productos de calidad estándar. Por otro lado, dichos productos son actualmente sujetos de normalización por parte de un comité en el que participan productores, consumidores y técnicos.

El mercado para estos productos viene experimentando un crecimiento a nivel nacional –aunque algo lento–, y a nivel internacional se ha despertado cierto interés (de hecho, se han enviado muestras a España, Italia y EE.UU). Su atractivo está no sólo en su calidad nutricional y su origen natural, sino también en algunas propiedades medicinales que le atribuye la tradición popular. Sin embargo, una gran limitante sigue siendo el reducido tamaño del mercado. Las empresas locales no han logrado desarrollar estrategias de marketing que impliquen un posicionamiento y una expansión del mercado de estos productos (Ruiz, 1998).

Por ese motivo, la Universidad de Piura viene trabajando en los aspectos comerciales, como son:

- La normalización de la calidad de los productos.
- Ampliación del consumo en sectores de mayor poder adquisitivo, a través de nuevas aplicaciones, y con un adecuado plan de mercadeo.
- Desarrollo de formulaciones (por medio de mezclas con otros ingredientes alimenticios), tanto para el consumidor estándar como para programas gubernamentales de asistencia alimentaria.
- Investigaciones de mercado.
- Eventos de promoción, tales como ferias, recetarios, degustaciones y concursos.
- Estudios económicos tendientes a demostrar la rentabilidad del negocio.

En este trabajo se presentan los procesos, requerimientos de equipos y distribución en planta, para la obtención de dos productos derivados de la algarroba peruana:

**algarrobina** (75-78° Brix) y **harina de algarroba** (tamaño de partícula menor a 0,15 mm). Asimismo, se presenta un resumen de los costos unitarios y de las variables financieras para la industrialización de los mismos.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

### ***a. Proceso para la producción de algarrobina***

En la Figura 1 se presenta el flujograma del proceso de producción de la algarrobina, incluyendo un balance de materia. Éste consta de las siguientes etapas.

**Acopio.** Consiste en abastecerse de materia prima, sobre todo durante la época de la cosecha (diciembre a marzo), con el fin de disponer de ella durante todo el año. En la propuesta se han evaluado dos opciones: la de acopiar para disponer de materia prima todo el año y la de ir comprando según los requerimientos de producción.

**Selección.** Dado que las vainas son colectadas desde el suelo en forma manual y muchas de ellas se malogran debido a las lluvias que caen durante la misma época, es necesario realizar una selección con el fin de cuidar la higiene del proceso y un buen rendimiento del producto final. La selección consiste, entonces, en separar manualmente las vainas picadas y muy dañadas, materias extrañas e insectos, obteniéndose aproximadamente 70% de vainas, en condiciones para ser procesadas. Para esta operación, un operario es capaz de seleccionar 120 kg/h, referidos a algarroba acopiada.

**Almacenamiento.** La algarroba, una vez seleccionada, se somete a un proceso de pre-secado para llevar la humedad inicial (alrededor de 14%) hasta un 12%. En estas condiciones se procede a almacenar, de manera que se conserve la calidad durante un tiempo de almacenamiento prolongado.

**Lavado.** Las vainas se lavan con agua de manera que se eliminan sustancias adheridas a ellas. La operación se realiza en una lavadora, cuyas características se detallan en la Tabla 1. El rendimiento es de 125 kg/h-H (hora-Hombre).

**Troceado.** Es una operación que permite obtener trozos de algarroba de entre 3 y 4 cm. Se realiza en un molino troceador cuyo rendimiento es de 100 kg/h (Tabla 1). El objetivo de esta operación es hacer más eficiente la extracción de azúcares.

**Extracción de azúcares.** En esta operación se mezcla la algarroba troceada con agua en una relación de 1:4 (peso/volumen) y a continuación se hace hervir por dos horas en recipientes de acero inoxidable; posteriormente la algarroba cocida (bagazo) se separa y el jugo se hace pasar por una tela filtrante para separar los sólidos finos; el jugo contenido en el bagazo se separa por prensado y se adiciona al volumen obtenido inicialmente, resultando un jugo de 15° Brix.

**Concentración.** El jugo obtenido anteriormente se concentra en recipientes de acero inoxidable, hasta obtener la algarrobina de 75 a 78° Brix. Respecto al rendimiento, por cada 100 kg de materia prima procesada se obtienen 34 kg de algarrobina. El tiempo para concentrar un volumen de 250 litros de jugo de 15° Brix en un solo recipiente es de aproximadamente 5 horas.

**Envasado.** Es la operación final y en este caso se propone que la algarrobina se envase en baldes de 20 kg, tal como va a ser comercializada.

En la Tabla 1 se presentan los equipos necesarios para el procesamiento de la algarrobina y sus especificaciones técnicas.

### **a.1. Evaluación financiera**

El proceso antes descrito se evalúa financieramente considerando dos alternativas de almacenamiento de algarroba: i) la construcción de 6 almacenes para el abastecimiento de materia durante todo el año y ii) dos recintos, uno para el acopio de la materia prima, que se comprará según los requerimientos, y otro para el almacenamiento temporal de la algarroba seleccionada. Esto conlleva que en la primera opción el capital de trabajo considere la compra de materia prima para todo el año y en la segunda opción sólo el abastecimiento para tres meses de producción. El costo de la materia prima para la primera alternativa es de US\$ 31/TM y para la segunda, US\$ 69/TM (valor promedio anual).

Asimismo, la evaluación financiera se ha realizado considerando una utilidad de 35% sobre el costo unitario y para un horizonte de 10 años. Se ha optado por esta forma de evaluación para poder comparar el rendimiento de las opciones, al margen de los precios del mercado. Como se verá más adelante, los costos obtenidos son competitivos.

El volumen de producción, sobre el que se basan los cálculos es de 10 toneladas mensuales, durante 10 meses al año. Estos volúmenes son factibles de comercializarse en el gran mercado capitalino, programas de asistencia alimentaria y en el mercado internacional.

### **b. Proceso para la producción de harina de algarroba**

El proceso para la producción de harina de algarroba se presenta en la Figura 2 y consta de las siguientes etapas:

**Acopio.** *Idem* al proceso de algarrobina.

**Selección.** En este caso la selección es más exhaustiva que en el proceso anterior, con el fin de evitar la presencia de huevos de insectos y materias extrañas que disminuirían el tiempo de vida del producto final. El rendimiento de la operación de selección es de 35 kg/h-H, referido a algarroba acopiada.

**Almacenamiento.** *Idem* al proceso de algarrobina.

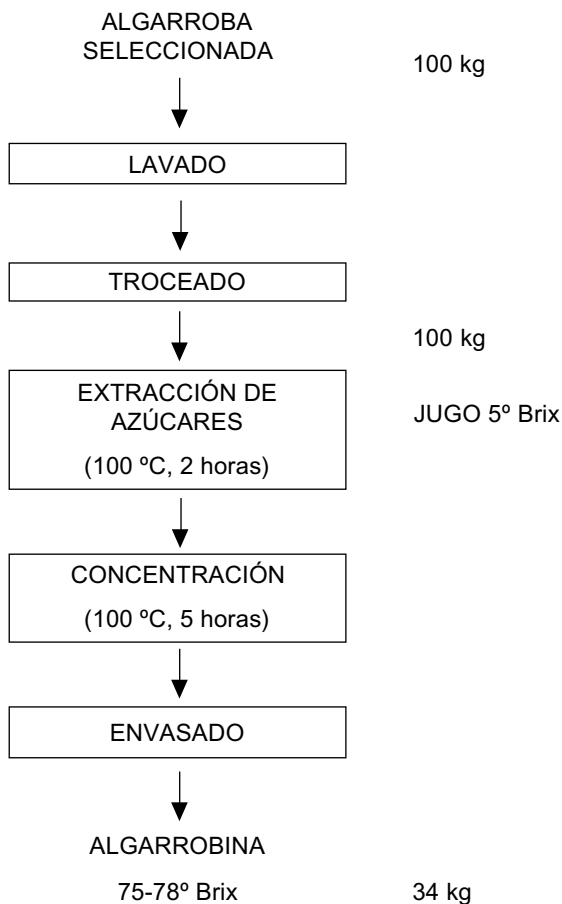


Figura 1. Proceso para la obtención de algarrobina  
 Figure 1. Process to produce algarrobina

**Lavado.** *Idem* al proceso de algarrobina.

**Secado.** Es la etapa en la que se disminuye el contenido de humedad de las vainas con el fin de facilitar la operación de molienda y evitar la aglomeración de la harina y el atascamiento de los martillos del molino. La humedad de las vainas al final de esta etapa es de 6%; esto se consigue en un secador de bandejas cuyas características se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 1. Equipos para la producción de algarrobina

Table 1. Equipment for producing algarrobina

| EQUIPO                       | CARACTERÍSTICAS   |
|------------------------------|---|
| Lavadora de vainas           | Rendimiento: 125 kg/h-H<br>Tanque colector de agua de 01 m <sup>3</sup><br>Bomba de recirculación: 1/2 HP                                     |
| Molino troceador             | Material: acero inoxidable<br>Rendimiento: 100 kg/h<br>Motor trifásico: 2 HP<br>Velocidad de rotor: 2500 rpm<br>Número de martillos fijos: 12 |
| Cocinas industriales         | Quemadores a gas propano o GLP  |
| Recipientes de concentración | Material: acero inoxidable<br>Capacidad: 300 L. Diámetro: 0,8 m.  |
| Prensa                       | Material de cámara de prensado: acero inoxidable<br>Capacidad de cámara: 150 L  |

**Molienda.** Se efectúa en dos etapas en un molino pulverizador cuyas características se aprecian en la Tabla 2. En primer lugar se muelen las vainas enteras colocando en el molino la malla de abertura de poro de 4 mm; luego, el producto se muele por segunda vez, usando para ello la malla de abertura de poro de 1 mm. Esta operación permite obtener un 45% de harina respecto a la cantidad alimentada de algarroba.

**Tamizado.** El producto pulverizado anteriormente se hace pasar a través de tres tamices con el fin de separar la harina fina. Esta última es la fracción pasante por la malla N° 100 (ASTM). Para los volúmenes que se plantea procesar, son necesarios cuatro tamizadores vibratorios que generan una capacidad de tamizado de 80 kg/h. En la Tabla 2, se aprecian las características para un tamizador vibratorio.

**Envasado.** El producto final se envasa en bolsas de polietileno de 2 kg de capacidad.

### b.1. Evaluación financiera

La evaluación financiera de costos unitarios y de inversiones se hace con la misma metodología del caso anterior. El volumen de producción en el que se basan los cálculos es de 6,16 TM, durante 9 meses al año. Esta producción se ha estimado en base al 5% de las necesidades de los insumos alimenticios del Programa Nacional de Asistencia Alimentaria en el Departamento de Piura; eventualmente, este producto podría destinarse al gran mercado capitalino y al internacional.

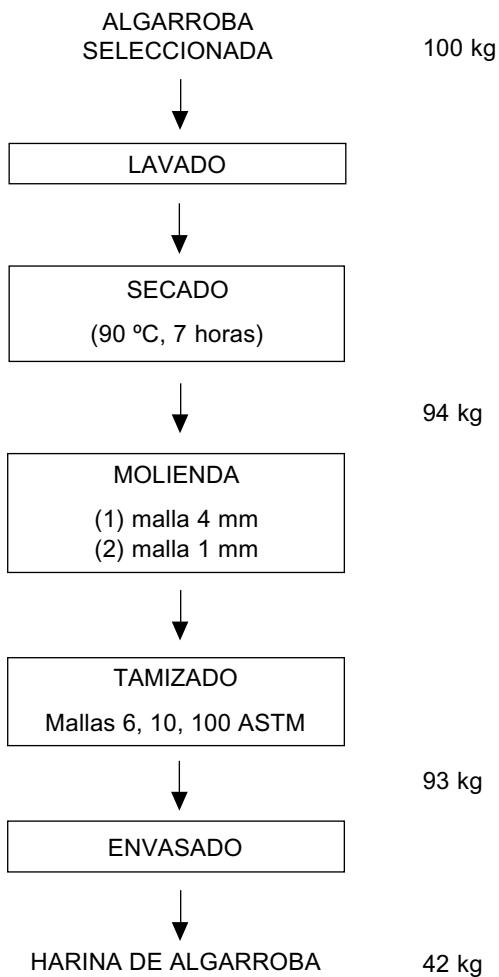


Figura 2. Proceso para la obtención de harina de algarroba  
 Figure 2. Process to produce algarroba flour

## RESULTADOS

En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se presentan las distribuciones en planta para los dos procesos de producción y, a su vez, para los casos en que se almacena materia prima para todo el año y cuando se compra según requerimientos.



Tabla 2. Equipos para la producción de harina de algarroba

Table 2. Equipment for producing algarroba flour

| EQUIPO                       | CARACTERÍSTICAS  |
|------------------------------|--|
| Lavadora de vainas           | Rendimiento: 125 kg/h-H<br>Tanque colector de agua de 01 m <sup>3</sup><br>Bomba de recirculación: 1/2 HP  |
| Secador estático de bandejas | Rendimiento: 700 kg/6 horas<br>Quemador a gas de 175.000 BTU/h<br>Sistema de recirculación de aire con extractor de aire de 1 HP.<br>Carros portabandejas: 12<br>Bandejas/carro: 11<br>Capacidad de cada bandeja: 5,5 kg |
| Molino pulverizador          | Material: acero inoxidable<br>Rendimiento: 70 kg/h<br>Motor trifásico: 3,5 HP<br>Velocidad del rotor: 3.700 rpm<br>Número de martillos pivotantes: 24  |
| Tamizador vibratorio         | Material: acero inoxidable<br>Rendimiento: 20 kg/h<br>Motor trifásico: 1/4 HP<br>3 tamices ASTM N°: 6, 10 y 100  |

Por otro lado, en las Tablas 3 y 4 se resumen los costos unitarios, las inversiones y los resultados de la evaluación financiera.

## DISCUSIÓN

### **a. Proceso para la producción de algarrobina**

En la Tabla 3, se puede ver que el mayor de los costos unitarios (US\$1,06/kg), obtenido sin construir almacenes, es muy competitivo en el Perú ya que, además de obtener un producto de buena calidad, se alcanzan menores costos de producción, comparados con los de las empresas actuales (US\$ 1,48/kg). Los mejores resultados de la evaluación financiera (tasa interna de retorno, valor actual neto y tiempo de recuperación del capital) se presentan en la opción “sin almacenes” que es consecuencia de la gran diferencia en la inversión total.

La opción “con almacenes”, si bien refleja un menor rendimiento financiero (21%), es bastante aceptable, dentro del costo de oportunidad que tiene el dinero en el Perú (8% anual); sin embargo, la gran debilidad de esta opción será la alta inversión inicial (US\$ 162.900). Hay que destacar también que el tener almacenes garantiza disponer de

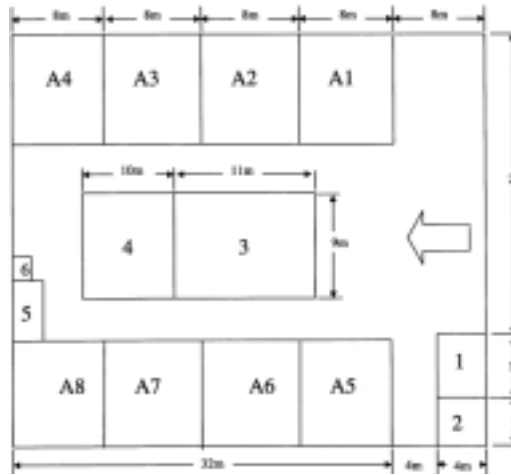


Figura 3. Planta de elaboración de algarrobina, “con almacenes” (40mx30m). A1-A8: Almacenes de materia prima, 40 TM (8mx8m), 1: Oficina administrativa. 2: Almacén de productos terminados, 2.5 TM. 3: Área de procesos. 4: Plataforma de acopio. 5: Servicios higiénicos (4mx2m). 6: Caseta de combustible (2mx1m)

Figure 3. Factory for the production of algarrobina, “with storerooms” (40x30 m). A1-A8: Storerooms for raw material, 40 TM (8mx8m). 1: Administrative office. 2: Storeroom for final products. 3: Processing area. 4: Stock platform. 5: Rest rooms. 6: Fuel booth

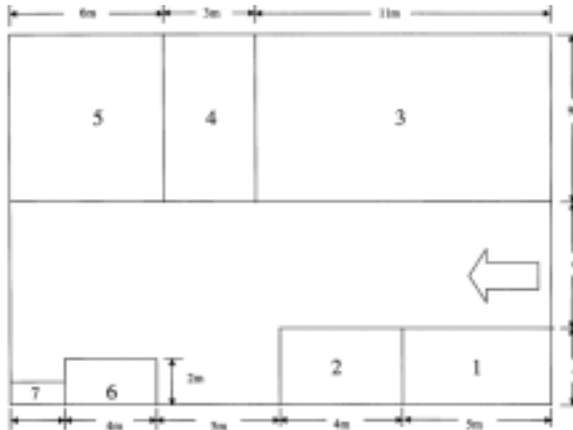


Figura 4. Planta de elaboración de algarrobina, “sin almacenes” (20mx19m). 1: Oficina administrativa. 2: Almacén de productos terminados, 2.5 TM. 3: Área de procesos. 4: Almacén de materia prima seleccionada, 5 TM. 5: Plataforma de acopio. 6: Servicios higiénicos. 7: Caseta de combustible (2mx1m)

Figure 4. Factory for the production of algarrobina, “without storerooms” (20x19 m). 1: Administrative office. 2: Storeroom for final products. 3: Processing area. 4: Storeroom for selected raw material. 5: Stock platform. 6: Rest rooms. 7: Fuel booth

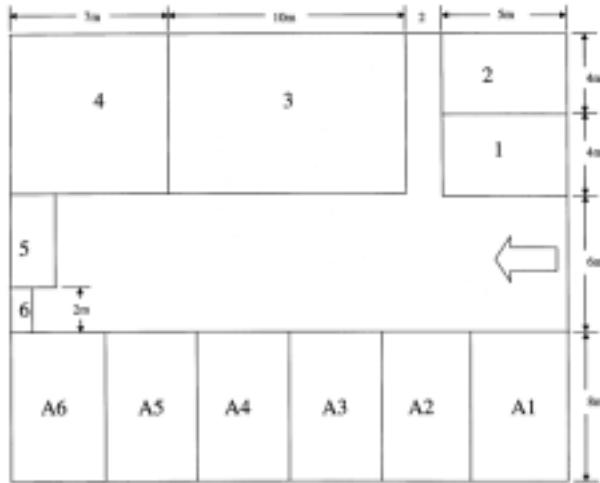


Figura 5. Planta de elaboración de harina de algarroba, “con almacenes” (24mx22m). A1-A6: Almacenes de materia prima, 20 TM. (8mx4m). 1: Oficina administrativa. 2: Almacén de productos terminados. 3: Área de procesos. 4: Plataforma de acopio/escurrido. 5: Servicios higiénicos. 6: Caseta de combustible (2mx1m)

Figure 5. Factory for the production of algarroba flour, “with storerooms” (24x22 m). A1-A6: Storerooms for raw material, 20 TM. (8mx4m). 1: Administrative office. 2: Storeroom for final products. 3: Processing area. 4: Stock and dripping platform. 5: Rest rooms. 6: Fuel booth

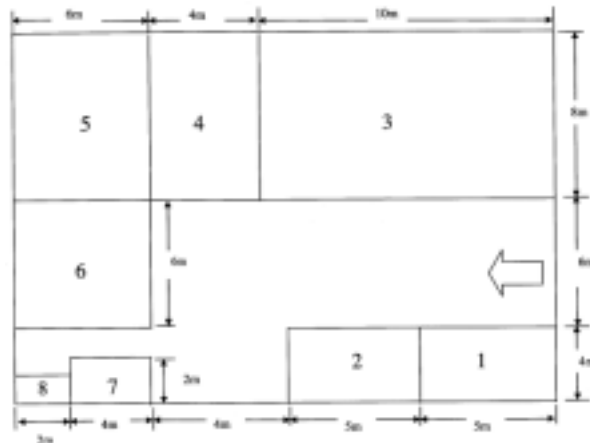


Figura 6. Planta de elaboración de harina de algarroba, “sin almacenes” (20mx18m). 1: Oficina administrativa. 2: Almacén de productos terminados. 3: Área de procesos. 4: Almacén de materia prima seleccionada, 5 TM. 5: Plataforma de escurrido. 6: Plataforma de acopio. 7: Servicios higiénicos. 8: Caseta de combustible (2mx1m)

Figure 6. Factory for the production of algarroba flour, “without storerooms” (20x18 m). 1: Administrative office. 2: Storeroom for final products. 3: Processing area. 4: Storeroom for selected raw material. 5: Stock platform. 6: Rest rooms. 7: Fuel booth

Tabla 3. Resumen de costos, inversiones y de evaluación financiera para la producción de algarrobina  
*Table 3. Summary of costs and investments and financial evaluation for the production of algarrobina*

| VARIABLE                         | CON ALMACENES | SIN ALMACENES |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| Costo unitario (US\$/kg)         | 0,98          | 1,06          |
| Inversión fija (US\$)            | 136.000       | 59.300        |
| Capital de trabajo (US\$)        | 26.900        | 21.000        |
| Inversión total (US\$)           | 162,900       | 80,300        |
| TIR (%) a 10 años                | 21            | 50            |
| VAN (US\$) a 10 años             | 108.200       | 195.600       |
| Recuperación de inversión (años) | 6             | 3             |

Tabla 4. Resumen de costos, inversiones y de evaluación financiera para la producción de harina de algarroba  
*Table 4. Summary of costs and investments and financial evaluation for the production of algarroba flour*

| VARIABLE                         | CON ALMACENES | SIN ALMACENES |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| Costo unitario (US\$/kg)         | 0,91          | 1,00          |
| Inversión fija (US\$)            | 79.500        | 60.900        |
| Capital de trabajo (US\$)        | 12.700        | 10.500        |
| Inversión total (US\$)           | 92.200        | 71.400        |
| TIR (%) a 10 años                | 21            | 31            |
| VAN (US\$) a 10 años             | 60.500        | 88.050        |
| Recuperación de inversión (años) | 6             | 4             |

algarroba de buena calidad en todo el año, situación que habrá que ponderar a la hora de decidir entre las dos opciones.

### ***b. Proceso para la producción de harina de algarroba***

En la Tabla 4, se puede ver que el mayor costo unitario se obtiene sin construir almacenes (US\$ 1,00/kg); sin embargo no hay diferencia sustancial con el obtenido en la otra opción (US\$ 0,91/kg). El costo obtenido es altamente competitivo en el Perú ya que es 30% menor al obtenido por las empresas actuales (US\$ 1,43/kg). Al igual que en el caso anterior, los mejores resultados de la evaluación financiera (tasa interna de retorno, valor actual neto y tiempo de recuperación del capital) se presentan en la opción “sin almacenes”; pero los rendimientos y tiempos de recuperación son menos favorables que en el caso de la algarrobina.

Para la opción “con almacenes”, menos atractiva para la inversión, hay que ponderar –al igual que en el caso de la algarrobina– la ventaja de disponer de algarroba de buena calidad durante todo el año.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los procesos planteados son técnicamente factibles de llevar a la práctica, pues los equipos están disponibles en el comercio; por otro lado, las operaciones son ampliamente conocidas y fácilmente operables.

Los costos de la algarrobina y la harina de algarroba son competitivos en el mercado nacional, lo que hace económicamente factible su ingreso a éste con los procesamientos propuestos.

En los dos casos de procesamiento, la opción “sin almacenes” es la más atractiva financieramente; sin embargo, habrá que ponderar la disponibilidad de materia prima de calidad sanitaria óptima durante el año, a la hora de decidir por una de las dos opciones de inversión que se presentan.

Las mejores posibilidades para una eventual inversión, en un solo producto, se presentan en la producción de algarrobina, con la opción “sin almacenes”. Por ello, se hace necesario investigar, en primer lugar, el mercado y luego elaborar un plan de mercadeo estratégico, con el fin de posicionar el producto en el sector del mercado nacional e internacional más apropiado.

A pesar de que los programas de asistencia alimentaria locales, mercado hacia el cual se propone dirigir la producción de harina, pueden absorberla, no deja de ser una debilidad de la propuesta el depender sólo de este mercado; por ello, se recomienda ampliar el mercado de dicho producto mediante un plan de mercadeo, que en una primera etapa cubra el ámbito nacional y luego el mercado externo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO, 1999a. Expertos piuranos clonan algarrobos por primera vez. *Diario El Comercio*, Perú, Lima 18.09.99.
- ANÓNIMO, 1999b. *Programa piloto de reforestación extensiva con algarrobos (Prosopis juliflora) en región desértica*. Perú – Región Grau. Comisión europea. Informe final, abril 1999.
- BRAVO, L., N. GRADOS, & F. SAURA-CALIXTO, 1994. Composition and potencial uses of mesquite pods (*Prosopis pallida* L): comparison with carob pods (*Ceratonia siliqua* L). *Journal of Science Food and Agriculture* 65, 303-306.
- BRAVO, L., N. GRADOS, & F. SAURA-CALIXTO, 1998. Characterization of syrup and dietary fibre obtained from mesquite pods (*Prosopis pallida* L). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1727-1733.

- CARRIÓN, E., 1988. *Uso de algarroba como sucedáneo de café*. Tesis, UDEP, Piura, Perú.
- CLAVIJO, J., 1990. *Obtención de alcohol etílico a partir del fruto del algarrobo*. Tesis, UDEP, Piura, Perú.
- CRUZ, G., 1986. *Obtención de harina de algarroba y posibilidades de utilizarla en productos para la utilización humana*. Tesis, UDEP, Piura, Perú.
- GRADOS, N. & G. CRUZ, 1996. New approaches to industrialization of algarrobo (*Prosopis pallida*) pods in Perú. iN: Felker P. and Moss J. (editors): *Prosopis: semiarid fuelwood and forage tree. Building consensus for the disenfranchised*. Workshop Proceedings, 13-15 March 1996, Washington D.C., 3-25 to 3-42.
- LA TORRE, P., 1988. *Polvo soluble instantáneo a base de algarroba*. Tesis, UDEP, Piura, Perú.
- RUIZ, W., 1997. *Enriquecimiento proteico de la harina de algarroba mediante multiplicación de levaduras*. Tesis, UDEP, Piura, Perú.
- RUIZ, W., 1998. Evaluación económica de procesos para la obtención de productos de algarroba. Ponencia presentada en el *Coloquio Internacional: "El algarrobo en el desarrollo sostenible después de El Niño"*. Abril 1998. Piura, Perú.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000



# POTENCIALIDAD ECONÓMICA DE BOSQUES CON ALGARROBOS. I: PROPUESTA DE USO MÚLTIPLE PARA EL CHACO ÁRIDO

*ECONOMIC POTENTIAL OF ALGARROBO FORESTS.  
I. PROPOSAL FOR MULTIPLE USE IN THE ARID CHACO*

RUBÉN COIRINI Y ULF KARLIN

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba -  
Casilla de Correos 509 - 5000 Córdoba, Argentina. E-mail: mam@agro.uncor.edu

## RESUMEN

El Chaco Árido se encuentra en el 95% de su superficie con una estructura denominada fachinal, debido a la tala excesiva y sobrepastoreo, caracterizada por un arbustal denso con pocos árboles.

Se propone un sistema agroforestal con un nivel de inversión medio. Se realizará desmonte selectivo mecánico y manual en forma progresiva, a razón de pulsos de 100 ha cada 4 años dejando la estructura del algarrobal. En la misma operación se implantará *Cenchrus ciliaris* a razón de 5kg/ha. Con esta pastura más el estrato arbóreo podemos aumentar la producción de carne a 39 kg/ha/año. A través de poda y raleo se duplica la productividad económica del bosque. En distintas alternativas se incorpora en la evaluación económica, como ejemplo de uso múltiple, la producción apícola y la extracción de goma de brea (*Cercidium praecox*).

El Valor Actual Neto mayor que cero a todas las tasas de descuento utilizadas indica que se recupera el capital invertido, cubriendo los costos y con una ganancia en el sistema de producción. Se destaca la mejora ambiental y de la biodiversidad y menores oscilaciones productivas debido al clima, ya que la diversificación de la producción disminuye el riesgo económico de las explotaciones agropecuarias. Socialmente, el aumento del ingreso y la mayor ocupación de la mano de obra familiar, mejora el nivel de vida de los productores.

**Palabras clave:** Agroforestería, producción de carne, desmonte selectivo.

## SUMMARY

*The Arid Chaco has 95% of its surface with a structure called “fachinal” characterized by a dense shrub with few trees, due to the excessive tree cutting and overgrazing.*

*An agroforestry system with an average level of investment is proposed to improve conditions. Mechanical and manual selective clearing will be made in progressive form, at the rate of pulses of 100 ha every 4 years leaving the “algarrobal” forest structure. In the same operation *Cenchrus ciliaris* will be implanted at the rate of 5 kg/ha.*

*With this pasture plus the arboreal layer we can increase the production of meat to 39 kg/ha/year. Through pruning and selective cleaning the economic productivity of the forest is duplicated. The apiculture production and the rubber (*Cercidium praecox*) extraction are gotten up in different alternatives from the economic evaluation, as example of multiple use.*

*Net Present Value greater than zero to all the used rates of discount indicates that the invested capital can be recovered, covering the costs with a gain in the production system. One stands out the environmental improvement and the biodiversity, and the minor productive oscillations due the climate since the diversification of the production diminishes the economic risk to the rural production systems. Socially the increase of the entrance and the greater occupation of the familiar manual labor improve the standard of life of the farmers.*

**Key words:** *Agroforestry, meat production, selective clearing.*

## CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

El Chaco Árido Argentino posee una superficie cercana a los 8 millones de hectáreas, extendiéndose desde los 64° 30' a los 67° 30' de longitud Oeste y desde los 28° 30' a los 33° 00' de latitud Sur. Ocupa la porción sudoeste del Gran Chaco Americano y es su expresión más seca y menos productiva. (Karlin *et al.*, 1992).

Sus límites están en general bien definidos por montañas cuyas alturas varían entre los 1.000 y 3.000 metros, creando una serie de cuencas cerradas. Los cursos de agua intermitentes y estacionales terminan en derrames arcillosos y salinos (Morello *et al.*, 1985).

El clima es subtropical seco, con precipitaciones entre los 500 mm en su franja este a los 300 mm en su límite oeste. El régimen pluviométrico es marcadamente estival, concentrándose el 70% de las lluvias en los 4 meses más cálidos (noviembre a febrero).



Las temperaturas en verano son elevadas, con una media mensual del mes más cálido (enero) de 26°C. Los inviernos son templados presentándose entre 5 a 10 días con heladas en el año, siendo la media mensual del mes más frío de 12°C (Prohaska, 1959).

La napa freática se encuentra entre los 80 y 120 metros de profundidad, al pie de las montañas y disminuye hacia la zona baja, hasta los 8-12 metros. La calidad del agua, considerando el porcentaje de sales, es buena cerca de las montañas, con disminución hacia las zonas bajas.

Los caudales medios anuales (módulos) de los arroyos y ríos son de escasa importancia (0,3 a 2 m<sup>3</sup>/seg.) y son de régimen torrencial.

Debido a la tala excesiva y sobrepastoreo, encontramos en la actualidad que el 95% de la superficie tiene una estructura denominada fachinal, caracterizada por un arbustal denso con pocos árboles. En el arbustal predomina *Larrea divaricata* (jarilla) y, con menor presencia, *Capparis atamisquea* (atamisqui) *Senna aphylla* (pichana) y *Celtis chichape* (tala churqui). En el estrato arbóreo dominan los algarrobos, en especial *Prosopis flexuosa* sobre el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*). En el estrato herbáceo existe gran cantidad de especies anuales como *Aristida adscencionis*, *Bouteloua aristidoides* y pocas perennes como *Trichloris crinita* y *Pappophorum caespitosum*. Hay gran porcentaje de suelo desnudo (Karlin y Díaz, 1984).

Esta estructura arbustiva compite severamente con la vegetación herbácea y con los renovales de árboles, impidiendo una rápida recuperación de los recursos vegetales más valiosos.

### **Situación social y económica**

La densidad poblacional del Chaco Árido es baja, teniendo en promedio 1,4 habitantes por km<sup>2</sup>, de los cuales entre el 60 y el 70% viven en ciudades y pueblos de la región, quedando como población rural 0,5 a 0,7 habitantes/km<sup>2</sup>. El 80% de la tierra está en manos del 10% de los dueños, superando sus superficies las 1000 hectáreas. Las mismas se dedican principalmente a la cría de ganado vacuno, contratando o alquilando personal para la explotación forestal. Mientras que solamente 10% de la tierra está en manos del 60% de los pobladores con superficies de menos de 400 ha. Se dedican principalmente a la actividad ganadera bovina y caprina y a la explotación forestal complementadas con la cría de animales de granja y el cultivo de pequeñas chacras (maíz, zapallo, forrajes) para autoconsumo. Generalmente viven en su tierra y usan la mano de obra familiar para las tareas rurales. Este tipo de sistema permite el autosostenimiento de la mayor parte de la población de la región, pero no tiene la capacidad para incorporar a las nuevas generaciones, las que se ven obligadas a emigrar (Coirini, 1992).

La rentabilidad general de la región es baja debido al estado de los recursos naturales, a los esquemas de producción y manejo, al tipo de productos de bajo valor obtenidos y al sistema de comercialización existente (Basco *et al.*, 1980).

Hay una creciente pauperización que se manifiesta en falta de servicios esenciales (agua, energía) y una baja infraestructura en comunicación, salud, educación. Es escasa la organización de los productores como así también la asistencia técnica a los mismos (S. A. G. y P., 1984).

Por la baja calidad de vida y las escasas fuentes de trabajo esta región es fuerte expulsora de población, especialmente del grupo económicamente activo.

### **Sistemas de producción**

Debido a las características de las precipitaciones, y a las altas temperaturas imperantes, en el Chaco Árido no es posible realizar cultivos anuales sin agua adicional, ya que los rendimientos logrados son escasos y económicamente de muy baja rentabilidad. Es factible, en cambio, realizar cultivos perennes, en especial gramíneas y arbustos forrajeros, siempre que se empleen técnicas y manejos adecuados (Karlin *et al.*, 1992; Ayerza *et al.*, 1988).

Los sistemas de producción actuales y principales en el Chaco Árido son:

- La ganadería extensiva, destinada a la cría de vacunos y caprinos, obteniéndose como producto final terneros y cabritos.
- La explotación forestal, otrora importante, actualmente está reducida a la producción en pequeña escala de leña y carbón con bajos rendimientos económicos (Zaffanella, 1986; Karlin *et al.*, 1989).

Los recursos que abastecen el sistema (forrajeros y forestales) se encuentran degradados, esto se refleja en los valores actuales de producción (promedio regional):

- 1) La producción del pastizal actual alcanza solo a mantener un equivalente vaca cada 15 a 20 hectáreas, que junto con el escaso porcentaje de parición (45%) y peso de los animales a la venta, resulta en una productividad de 3 a 5 kg de carne por hectárea y por año. El producto ganadero representa el 50% del ingreso regional.
- 2) La producción forestal actual oscila alrededor de 0,6 toneladas por hectárea y año, de la cual más del 90% es destinado a leña o carbón y el resto para postes, varillas o madera para sostén de las viñas. El producto forestal representa el otro 50% del ingreso regional, del cual los algarrobos aportan el 70% y los quebrachos blancos el 30%.

Se remarca que son valores promedios de la región, ya que existen en la realidad productividades más bajas y otras más altas. En general, a menor tamaño de campo, es mayor la presión sobre los recursos y menor la productividad de los mismos.

Se debe aclarar que la forma de utilización actual no debe ser tomada como silvopastoril, ya que carece de un manejo adecuado que garantice una buena rentabilidad y la renovabilidad del monte nativo.

En esta biorregión son muy claros los beneficios de incentivar los manejos de monte nativo frente a los desmontes mecánicos. Esta sería la biorregión ideal para comenzar con programas de manejo. Ejemplo: el manejo del monte puede incrementar la ocupación de mano de obra local, pudiendo utilizarse programas existentes y beneficiar a los productores que realicen estos manejos. La explotación forestal bien manejada puede brindar beneficios de productos maderables a la vez que garantiza la conservación y aun el mejoramiento de la masa boscosa (Anderson *et al.*, 1980).

El manejo del monte puede mejorar los beneficios económicos del predio, ya que los esquemas silvopastoriles aumentan la calidad y cantidad de pasto, estabilizan y diversifican el sistema frente a riesgos e incertidumbre.

El Chaco Árido merece la elaboración de un programa de manejo integral teniendo en cuenta su potencial productivo y los conocimientos técnicos existentes, para revertir la degradación por mal uso, la baja eficiencia productiva, la presión de los desmontes y la expulsión de la población.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

Los datos utilizados provienen de investigaciones que el equipo de trabajo viene desarrollando en el Chaco Árido (Catalán y Hang, 1994). Éstos se vuelcan en una superficie hipotética de 400 ha con alambrado perimetral, aguada y pozo balde y bosque de rehache solamente en 300 ha.

La situación inicial considera que la mano de obra es familiar o local y que las actividades productivas son la ganadería y la extracción de leña. Para la primera actividad se considera que la receptividad ganadera del campo es de 15 ha por vaca, con un porcentaje de preñez del 60%, logrando una producción de 5 kg carne/ha/año. Los costos directos de la actividad incluyen solo gastos veterinarios (vacunas y desparasitado).

La producción de leña considerada es de 0,6 tn/ha/año; la extracción se realiza sobre 300 hectáreas y se considera que las otras 100 ha carecen de valor forestal. Se considera sólo obtención de leña ya que otros productos forestales son de comercialización errática. Los cálculos de la situación inicial forman parte del anexo de este trabajo.

Esta situación genera un ingreso familiar (Dillon y Hardaker, 1980) de \$ 240 mensuales, que no es constante debido a la estacionalidad en la venta de los productos obtenidos. De mantenerse esto a lo largo del tiempo ocasionará un deterioro de la situación, no sólo en el orden de la economía familiar sino también en cuanto a los recursos productivos, debido a que la presión que se ejerce es cada vez mayor.

Es por ello que se propone un sistema agroforestal para contrarrestar los efectos de esta situación. Se realizará desmonte selectivo mecánico y manual combinado, en forma progresiva, a razón de pulsos de 100 hectáreas cada 4 años. En la misma operación se implantará *Cenchrus ciliaris* a una densidad de 5 kg por hectárea. Con esta

pastura podemos aumentar la producción de carne a 40 kg/ha/año. La propuesta incluye la compra de 33 vaquillonas preñadas cada vez que se desmontan 100 hectáreas. Cabe destacar que este planteo corresponde a un nivel de inversión medio

Después de la operación de desmonte selectivo se extrae la leña de los cordones a razón de 8 tn/ha. Cada vez que se desmonta selectivamente se realiza un ordenamiento forestal que consiste en poda y raleo para mejorar la calidad sanitaria y de productos, ya que se pueden lograr mejores fustes con aptitud de aserrío. De esta forma podemos obtener una productividad de 1 tn/leña/ha año, lo que significaría que si se extrae leña de 10 hectáreas anualmente en un turno cada 40 años tenemos una producción de 400 tn/año. Además, con el manejo propuesto se puede destinar el 20% a madera para aserrío, el 30% a postes, varillas y rodrigones y el resto para leña (Pietrarelli, 1991).

Se debe considerar la inversión en alambrado divisorio en cuatro potreros de 100 has cada uno, utilizándose alambrado eléctrico con panel solar.

Para completar esta propuesta de uso múltiple del bosque se pueden incorporar otras actividades productivas que complementan las anteriores. Como ejemplo se tomará la apicultura en base a 100 colmenas con una producción media de 30 kg de miel por colmena/año. Esta actividad requiere una inversión inicial para la compra de los núcleos y del equipo para trabajo y extracción de miel pero brinda una producción equilibrada en el tiempo, requiere de poca inversión de mantenimiento, es de fácil comercialización y presenta precio estable. Otra ventaja de esta actividad es que brinda la posibilidad de obtener más de un producto final, como miel, polen, jalea real, núcleos, etc., lo que significa una opción más para el productor ante situaciones de riesgo e incertidumbre.

También se incorpora la extracción de goma de brea (*Cercidium praecox*) sobre 1500 árboles con una producción media de 300 g/árbol. Si bien esta actividad no requiere ningún tipo de inversión inicial, presenta algunos problemas en la comercialización ya que en el país solamente está permitido su utilización a nivel industrial. Cuando la goma de brea sea incluida en código alimentario nacional aumentará considerablemente su demanda mejorando su precio.

La evaluación económica se realiza sobre tres alternativas cuyos cálculos de ingresos, costos e inversiones constan en anexo.

**Alternativa A.** Desmonte selectivo, implantación de pastura, compra de animales y apotreramiento con alambrado eléctrico con panel solar, postes cada 20 metros o utilizando los árboles existentes como postes vivos.

**Alternativa B.** Sobre la alternativa anterior se incorpora la producción apícola con la instalación de 100 colmenas.

**Alternativa C.** Sobre la alternativa anterior se incorpora la cosecha de goma de brea sobre la base de 1500 árboles en producción.

## **Metodología de cálculo económico**

Dado que la propuesta técnica incluye una inversión inicial e inversiones en los años 4 - 8 y 12, y que los ingresos y costos anuales se hallan diferidos en el tiempo, la metodología aplicada para evaluar la conveniencia económica de esta propuesta es la del Valor Presente Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

El horizonte de la inversión se toma en 16 años ya que en este momento las 400 hectáreas han sido desmontadas selectivamente y ya se comienza con la extracción de productos forestales con mayor valor agregado.

Dado que esta inversión se produce en forma escalonada en el tiempo y para evitar la obtención de TIR múltiples (Bacca Urbina, 1990) se aplica la metodología propuesta por Carrizo (1990), por la cual se actualizan los valores negativos de los años 4 - 8 y 12 hasta hacerlos cero o positivos. La mencionada actualización se realiza a una tasa del 8%.

La tasa de descuento utilizada es del 8%, tasa que de por sí castiga la inversión ya que es muy superior a la rentabilidad promedio de las explotaciones de la zona.

Se realiza además un análisis de sensibilidad con respecto a la tasa calculatoria a fin de visualizar si la inversión soporta el financiamiento externo.

Además se discuten otros efectos que no se valoran económicamente en este trabajo (intangibles) y que tienen un efecto sinérgico sobre la propuesta.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados de la evaluación económica se presentan en el siguiente cuadro:

|               | <b>Alternativa A</b> | <b>Alternativa B</b> | <b>Alternativa C</b> |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>VAN 8%</b> | 24.031,90            | 35.323,98            | 58.741,90            |
| <b>TIR</b>    | 17.58%               | 20.00%               | 32.30%               |

De ellos se desprende que las tres alternativas poseen un VAN mayor que cero, esto indica que el valor actualizado de los beneficios futuros superan la inversión necesaria para obtenerlos, a la tasa de descuento utilizada. A medida que se disminuye la inversión inicial o que aumentan las actividades productivas (miel y goma) del establecimiento se obtienen valores actualizados netos mayores, lo que indica la conveniencia económica de estas prácticas.

La rentabilidad promedio anual de la inversión (tasa interna de retorno) en todos los casos supera el costo de oportunidad fijado (8%), lo cual demuestra la viabilidad de las distintas propuestas.

Dado que al aumentar el costo de oportunidad, disminuye el VAN, se realizó un análisis de sensibilidad con respecto a distintas tasas de descuentos, a fin de determinar si las propuestas siguen siendo viables en el caso de tener que recurrir a financiamiento externo. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro:

|                  | <b>Alternativa A</b> | <b>Alternativa B</b> | <b>Alternativa C</b> |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>VAN 8%</b>    | 24.031,90            | 35.323,98            | 58.741,90            |
| <b>VAN 10%</b>   | 17.555,60            | 26.515,90            | 47.053,70            |
| <b>VAN 12%</b>   | 12.514,96            | 19.655,90            | 37.802,90            |
| <b>VAN 17,5%</b> | 3.477,09             | 7.375,80             | 20.750,24            |

En caso de que el productor no pueda hacer frente a ninguna de las inversiones y deba recurrir a tomar créditos, siendo la tasa actual del 17%, los VAN de las distintas alternativas permanecen positivos, lo que nos indica que aun así la propuesta es factible.

## **CONCLUSIONES**

La posibilidad de generar en la zona del Chaco Árido Sistemas Agroforestales es una práctica económicamente factible. El valor actual neto mayor que cero a todas las tasas de descuento utilizadas indica que se recupera el capital invertido, se cubren los costos y queda una ganancia en el sistema de producción.

Además hay que destacar la mejora ambiental que se produce relacionada con el mayor contenido de nutrientes y la disminución de la erosión hídrica y eólica que se refleja en del aumento de productividad y estabilidad del sistema. Por otro lado la estabilidad del sistema se refleja en las menores oscilaciones frente a agentes climáticos y en que la diversificación de la producción disminuye el riesgo económico inherente a las explotaciones agropecuarias.

Es necesario también destacar, como aspecto no valorado económicamente en este trabajo (intangibles), el aumento de la biodiversidad frente al estado degradado y a propuestas pastoriles convencionales. La fijación de carbono es de importancia ya que hay un aumento significativo de la materia orgánica a nivel del suelo y un aumento en la biomasa forrajera y forestal. A pesar de la baja tasa de crecimiento de la biomasa forestal, parte de ésta se destina a productos madereros de alta durabilidad.

Desde el punto de vista social el aumento del ingreso familiar trae como consecuencia una mejora en el nivel de vida de los productores. Además existe en la zona mano de obra desocupada, la que representa un costo de oportunidad igual a cero. La propuesta permite, a través del tiempo, la ocupación de mano de obra externa, lo que tiende a disminuir el éxodo poblacional.

Luego de la evaluación de los aspectos económicos, ecológicos y sociales podemos decir que los sistemas agroforestales presentan ventajas a ser tenidas en cuenta para lograr no sólo el beneficio económico sino también el uso sostenido de los recursos a través del tiempo y una mejora en las condiciones de vida.

En este trabajo se analizaron solamente tres alternativas, aunque existen otras factibles, como la incorporación de *Opuntia ficus indica*, que nos brindaría la posibilidad de utilizar los frutos para su venta en fresco o manufacturada para la fabricación de arrope, y la utilización de cladodios para la alimentación del ganado para cubrir el bache forrajero del invierno. Asimismo, el cultivo de especies aromáticas autóctonas como *Lippia turbinata* (poleo), *Aloysia gratisima* (palo amarillo), etc.

Como se puntualizó anteriormente esta propuesta corresponde a un nivel de inversión medio aunque se puede hacer extensible a pequeños productores tomando las distintas actividades en un espacio más amplio de tiempo. A manera de incentivo se necesitaría apoyo estatal para el comienzo de las actividades de manejo del bosque nativo a fin de mejorar la rentabilidad con una utilización sustentable del recurso.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, D. L. *et al.*, 1980. *Manejo racional de un campo en la Región Árida de los Llanos de La Rioja. República Argentina.* Partes I y II. INTA. 90 pp.
- AYERZA, R., R. DÍAZ & U. KARLIN, 1988. Manejo de *Prosopis* arbóreos en Sistemas de Producción Ganaderos en el Chaco Seco de Argentina. *Gaceta Agronómica* Vol. VIII N° 42, pp. 140-156.
- BACCA URBINA, G., 1990. *Evaluación de Proyectos. Análisis y Administración del Riesgo.* 2da. Edición. Mc Graw Hill México. 453pp.
- BASCO, M., P. TSAKOUNAGKIOS & M. BORRO, 1980. *Esquema conceptual y metodología para el estudio de Unidades Agropecuarias con énfasis en el minifundio.* S. N E. y S. R. Ministerio de Agr. y Gan. Nación. 82 p.
- CATALÁN, L. & S. HANG, 1994. *Diez años de aportes al conocimiento y manejo de las zonas Áridas.* Facultad Ciencias Agropecuarias UNC. 28 pp.
- C. F. I., 1962. Recursos Hidráulicos Superficiales. Serie "Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina". Tomo IV (2):467-879.
- COIRINI, R., 1992. Caracterización Social y Económica del Área Problema. En: *Sistemas Agroforestales para Pequeños Productores de Zonas Áridas.* FCA-UNC - GTZ. pp 54-59.
- DILLON, J. & B. HARDAKER, 1980. *La investigación sobre administración rural para el desarrollo de pequeños productores.* FAO Australia. 575 pp.
- KARLIN, U. O., R. COIRINI, L. PIETRARELLI & E. PERPIÑAL, 1992. Caracterización del Chaco Árido y propuesta de recuperación del recurso forestal. En: *Sistemas Agroforestales para Pequeños Productores de Zonas Áridas.* Facultad Ciencias Agropecuarias UNC - GTZ. 7-13 pp
- KARLIN, U.O. & R. DÍAZ, 1984. *Potencialidad y Manejo de Algarrobos en el Árido Subtropical Argentino.* SECYT. Programa Nacional de Recursos Naturales Renovables. 50 p.

- KARLIN, U.O., R. COIRINI & L. PIETRARELLI, 1989. Estudios de la Producción Económica de un bosque de Algarrobos en el Oeste de la Provincia de Córdoba, Argentina. *V Jornadas Técnicas de Uso Múltiple del Bosque y Sistemas Forestales*. Misiones. Argentina. pp. 17-18.
- MORELLO *et al.*, 1985. Estudio macroecológico de los llanos de La Rioja. *Administración de Parques Nacionales* N° 5 pp. 1-53.
- PIETRARELLI, L., 1991. *Efecto de poda y raleo en Prosopis aff. flexuosa en el Chaco Árido*. Informe final CONICOR. 32 pp.
- PROHASKA, F.J., 1959. El polo de calor de América del Sur. *IDIA* N° 141. pp: 27-30.
- S. A. G. y P., 1984. *Caracterización general del Noroeste Cordobés*. Tomo I 320 p. Córdoba.
- ZAFFANELLA, M., 1986. Creciente Necesidad de Métodos Expositivos para el Estudio de Problemas Agronómicos. *V Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas*. La Rioja. pp:118-153.

## ANEXO I

### ***I. Cálculo de los ingresos en la situación inicial***

#### **a) Ganadería**

Ingresos: 5 Kg. carne/ha/año x 400 has x \$ 0.60 Kg. = \$ 1.260.- anuales

Costos: Gastos veterinarios \$ 100,- anuales

MB = 1.260.00 - 100.00 = 1.160.00 anuales

#### **b) Forestal**

Leña: 0,6 tn/año x 300 has x \$ 25.00 = \$ 4.500.00 anuales.

### ***II. Cálculo de la inversión***

#### ***Alternativa A:***

Inversión inicial

Desmonte selectivo: 100 has x \$ 55,00 = \$ 5.500.00

Implantación Cenchrus: 5 kg/ha x \$ 5.00 x 100 has = \$ 2.500.00

Compra vaquillonas 33 x \$ 200.00 = \$ 6.600.00



Compra toros 2 x \$ 500.00 = \$ 1.000.00

Alambrado eléctrico 2 Km. = \$ 1.588.00

Total inversión = \$ 17.188.00

Inversión en los años 4 - 8 y 12.

Desmote selectivo: 100 has x \$ 55,00 = \$ 5.500.00

Implantación Cenchrus: 5 kg/ha x \$ 5.00 x 100 has = \$ 2.500.00

Compra vaquillonas 33 x \$ 200.00 = \$ 6.600.00

Compra toros 2 x \$ 500.00 = \$ 1.000.00

Alambrado eléctrico 1 Km. = \$ 475.00

Total inversión = \$ 16.075.00

### ***Alternativa B:***

Inversión inicial

Desmote selectivo: 100 has x \$ 55,00 = \$ 5.500.00

Implantación Cenchrus: 5 kg/ha x \$ 5.00 x 100 has = \$ 2.500.00

Compra vaquillonas 33 x \$ 200.00 = \$ 6.600.00

Compra toros 2 x \$ 500.00 = \$ 1.000.00

Alambrado eléctrico 2 Km. = \$ 1.588.00

Compra de 100 colmenas y equipo = \$ 6.000.00

Total inversión = \$ 23.188.00

Inversión en los años 4 - 8 y 12

Desmote selectivo: 100 has x \$ 55,00 = \$ 5.500.00

Implantación Cenchrus: 5 kg/ha x \$ 5.00 x 100 has = \$ 2.500.00

Compra vaquillonas 33 x \$ 200.00 = \$ 6.600.00

Compra toros 2 x \$ 500.00 = \$ 1.000.00

Alambrado eléctrico 1 Km. = \$ 475.00

Total inversión = \$ 16.075.00

### **Alternativa C:**

Inversión inicial

Desmonte selectivo: 100 has x \$ 55,00 = \$ 5.500.00

Implantación Cenchrus: 5 kg/ha x \$ 5.00 x 100 has = \$ 2.500.00

Compra vaquillonas 33 x \$ 200.00= \$ 6.600.00

Compra toros 2 x \$ 500.00= \$ 1.000.00

Alambrado eléctrico 2 Km. = \$ 1.588.00

Compra de 100 colmenas y equipo = \$ 6.000.00

Total inversión = \$ 23.188.00

Inversión en los años 4 - 8 y 12

Desmonte selectivo: 100 has x \$ 55,00 = \$ 5.500.00

Implantación Cenchrus: 5 kg/ha x \$ 5.00 x 100 has = \$ 2.500.00

Compra vaquillonas 33 x \$ 200.00 = \$ 6.600.00

Compra toros 2 x \$ 500.00 = \$ 1.000.00

Alambrado eléctrico 1 Km.= \$ 475.00

Total inversión años 4 - 8 y 12 = \$ 16.075.00

### **III. Cálculo de Ingresos y costos ganadería por cada 100 has**

Ingresos: 26 terneros /año x 150 Kg. x \$ 0,6 = \$ 2.340.00 anuales

Ingresos vaca refugio \$ 150.00 por vaca x 6 = \$ 900.00 anuales

Gastos veterinarios por cada 33 vacas \$ 300.-

Margen Bruto Ganadería = \$ 2.940.00 anuales

### **IV. Cálculo ingresos forestales**

40 tn leña/ha x 10 has/año = 400 tn anuales

#### **a) Producción de leña 50%**

Ingresos: 400 tn x 50% = 200 tn x \$ 25.00 = \$ 5.000.00

Egresos: Mano de obra \$ 9.00 /tn x 200 tn = \$ 1.800.00

MB leña = \$ 3.200.00 cada 10 has = \$ 320.00/ha/año

**b) Madera para aserrío 20%**

Ingresos:  $400 \text{ tn} \times 20\% = 80 \text{ tn} \times \$ 50.00 = \$ 4.000.00$

Egresos: Mano de obra  $\$ 9.00 / \text{tn} \times 80 \text{ tn} = \$ 720.00$

MB madera =  $\$ 3.280.00$  cada 10 has =  $\$ 328.00/\text{ha/año}$

**c) Producción de postes y varillas 30%**

Ingresos:  $400 \text{ tn} \times 30\% = 120 \text{ tn} \times \$ 50.00 = \$ 6.000.00$

Egresos: Mano de obra  $\$ 9.00 / \text{tn} \times 120 \text{ tn} = \$ 1.080.00$

MB postes =  $\$ 4.920.00$  cada 10 has =  $\$ 492.00/\text{ha}$

***V. Cálculo ingresos apícolas***

En base a 100 colmenas tomando solamente producción de miel a razón de 30 Kg. por colmena/año.

$100 \text{ colmenas} \times 30 \text{ Kg. miel} \times \$1.00 / \text{Kg.} = \$ 3.000.00$

Alimentación y cuidados  $\$ 5/\text{colmena} = \$ 500.00$

Margen Bruto Miel =  $\$ 2.500.00$  anuales.

***VI. Cálculo ingresos producción de goma***

En base a 1.500 árboles en producción a razón de 300 gr. de goma por árbol/año.

$1.500 \text{ árboles} \times 0,3 \text{ Kg.} \times \$ 3.00 \text{ Kg.} = \$ 1.350.00$  anuales.

Recibido: 01/12/2000

Aceptado: 14/12/2000



## INDICE

- R. VILLALBA, P.E. VILLAGRA, J.A. BONINSEGNA, M.S. MORALES Y V. MOYANO  
Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis* en Argentina  
*Dendroecology and dendroclimatology of Prosopis species from Argentina* ..... 1-18
- ROLANDO BRAUN WILKE, LUIS PICCHETTI Y GUSTAVO F. GUZMÁN  
*ROSOPIS FEROX* GRIS. Estado Actual de su Conocimiento  
*Prosopis ferox* Gris. *Current status of knowledge* ..... 19-34
- PABLO E. VILLAGRA  
Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos  
*Ecology of the Prosopis woodlands from Argentina* ..... 35-51
- CARLOS B. PASSERA  
Fisiología de *Prosopis* spp.  
*Physiology of Prosopis spp.* ..... 53-80
- BEATRIZ O. SAIDMAN, CECILIA F. BESSEGA, LAURA FERREYRA, NORMA JULIO Y JUAN C. VILARDI  
Estudios evolutivos y poblacionales en el género *Prosopis* utilizando marcadores bioquímicos y moleculares  
*Evolutionary and population studies in the genus Prosopis using biochemical and molecular markers* ..... 81-93
- PETER FELKER  
Management of native *Prosopis* stands and progress in genetic improvement  
*Manejo de macizos nativos de Prosopis y avances en mejora genética* ..... 95-105
- VILMA MAZZUFERI  
Plagas en *Prosopis*  
*Insect pests in Prosopis* ..... 107-117
- NORA GRADOS, WALTER RUIZ, GASTÓN CRUZ, CÉSAR DÍAZ Y JOSÉ PUICÓN  
Productos industrializables de la algarroba peruana (*Prosopis pallida*): algarrobina y harina de algarroba  
*Industrial products from algarroba peruana (Prosopis pallida): algarrobina and algarroba flour* ..... 119-132

RUBÉN COIRINI Y ULF KARLIN

Potencialidad económica de bosques con algarrobos. I: Propuesta de uso múltiple para el Chaco Árido

*Economic potential of algarrobo forests. I. Proposal for multiple use in the Arid Chaco*..... 133-145