

# Caracterización morfológica, distribución geográfica y estimación de nichos ecológicos de algarrobos (*Prosopis sp.*) en las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal norte de Argentina

Aníbal Verga(1), Carlos López(2), Marcelo Naval(1), Jacqueline Joseau(3), Carlos Gómez(1), Olegario Royo(1), Walter Degano(4) y Martín Marcó(1)

## RESUMEN

Fue realizada la clasificación de árboles semilleros muestreados en poblaciones naturales de algarrobo (*Prosopis sp.*) de las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal Norte por rasgos taxonómicos de hojas y de frutos.

Se lograron clasificar “Grandes grupos” morfológicos que pueden ser asociados a las especies de algarrobo descritas para la región. Sin embargo pueden diferenciarse tres formas distintas de *Prosopis alba*.

De acuerdo con estudios sobre especies afines, se presume que estos grupos morfológicos pueden ser ecotipos o inclusive subespecies de *P. alba*.

En base a la posición de cada árbol perteneciente a cada gran grupo, mediante el método BIOCLIM se construyen mapas de distribución potencial, indicando clases de aptitud climática.

En el caso particular de *Prosopis alba* se encontraron diferencias bioclimáticas especialmente entre los grupos morfológicos “Santiagoño” y “Chaqueño Norte”.

Estos grupos morfológicos no se distribuyen al azar en los distintos órdenes de suelo, sino que existen preferencias por Alfisoles e Inceptisoles, con algunas diferencias entre ambos grupos morfológicos.

Se encontraron diferencias en alturas medias y frecuencias de los árboles entre las clases climáticas, que corroborarían la clasificación bioclimática obtenida. También se encontraron diferencias en altura de árbol en los distintos órdenes de suelo.

Los resultados permiten proponer un mapa de calidad de sitio a nivel regional, que combina las clases climáticas de aptitud y los tipos de suelos más adecuados para los dos principales grupos de *P. alba*. Se discuten distintos conceptos sobre los patrones de distribución del género *Prosopis*. Se proponen hipótesis a poner a prueba y trabajos futuros descriptivos necesarios para evaluar los recursos genéticos de este importante grupo de especies forestales nativas para su uso y conservación.

## ABSTRACT

Classification of trees sampled from natural population of *Prosopis sp.* of Chaqueña and Espinal Norte regions, using taxonomical traits of leaves and fruits, was made.

Morphological “major groups” related to species of *Prosopis* described for this region were found. However three forms of *Prosopis alba* can be differentiated.

According to studies on related species, it can be assumed that these groups can be morphological ecotypes or even subspecies of *P. Alba*.

Based on the position of each tree for each major group, using the BIOCLIM method were built potential distribution maps indicating fitness climatic classes.

In the particular case of *Prosopis alba*, bioclimatic differences between the areas of “Santiagoño” and “Chaqueño Norte” morphological groups was revealed.

The geographical distribution of individual trees of these morphological groups is not at random and depends on type of soil. Analysis shown they prefer soils classify as Alfisoles e Inceptisoles with many differences between both groups.

Differences in height average and frequency of trees between climatic classes were found, that would confirm the bioclimatic classification. Also height tree differences were observed between soil type.

Results allow proposing a map of site quality at regional level that combines the adequacy of groups of *P. alba* to climatic characteristics and types of soil.

Besides, concepts about pattern of distribution of Genus *Prosopis* are discussed proposing hypotheses and descriptive works necessary to evaluate genetic resources of this important group of forest species for use and conservation.

- (1) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- (2) Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Santiago del Estero
- (3) Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba
- (4) Facultad de Recursos Naturales – Universidad Nacional de Formosa

## 1. INTRODUCCIÓN

En el marco de proyectos institucionales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba y de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, se realizaron trabajos de exploración, marcación, registro de datos de pasaporte y cosecha de material vegetal de árboles semilleros de algarrobo (*Prosopis sp.*) de la región Chaqueña y Espinal Norte. El principal objetivo de estas actividades fue el de constituir poblaciones base para iniciar programas de mejoramiento y conservación sobre este grupo de especies forestales nativas (Verga, A. et Al., 2005).

Estos programas tienen como meta proveer a mediano plazo material de propagación con características deseables para su uso en sistemas de producción adaptados al particular ambiente físico, social y económico de la región chaqueña y mejorar las características productivas de este recurso por selección de los árboles evaluados mediante pruebas de progenie. La instalación de ensayos de progenies con destino futuro a la producción de semilla se constituye también en un método de conservación *ex-situ*.

En este contexto, el presente trabajo consiste en la clasificación morfológica del material obtenido como primer paso en el ordenamiento del recurso genético del Algarrobo, y en el análisis de la distribución geográfica de los grupos morfológicos diferenciados en función de parámetros climáticos y edáficos para iniciar su caracterización adaptativa y ecofisiológica.

Llamamos **ordenamiento del recurso genético** en Algarrobo al proceso de diferenciación de **unidades de uso y conservación**. A estas unidades las definimos como grupos de individuos que poseen cierta identidad morfológica y genética, coherencia en sentido biológico y mantenimiento de identidad en el proceso evolutivo.

El ordenamiento del recurso es un proceso de aproximaciones sucesivas. No se trata de un estudio teórico que devela algo “escondido” en la naturaleza, sino de una construcción humana, que aprovecha las características propias del recurso que es objeto de manejo.

Durante el proceso de ordenamiento, las unidades de uso y conservación se definen con un grado de detalle creciente en sucesivas etapas: morfológica, genética, ecofisiológica, adaptativa en sentido amplio (al ambiente físico y biológico, y al uso) y evolutiva.

El Algarrobo es un complejo sistema de especies taxonómicas entrelazadas entre sí que dan por resultado un sinnúmero de formas que ocupan diversos nichos en más de la mitad del territorio continental argentino, extendiéndose también hacia Paraguay, Bolivia, Chile y Perú. Se muestra prácticamente sin solución de continuidad desde el punto de vista morfológico y adaptativo, y desde el punto de vista evolutivo todo el conjunto podría definirse como una unidad a escala continental, de la misma forma que el género *Eucalyptus* en Australia o *Quercus* en Europa (Verga, A. 1995).

Esta característica del Algarrobo dificulta la primera etapa del ordenamiento. Las especies clasificadas por la sistemática clásica representan únicamente grupos “*a priori*” de individuos con características morfológicas comunes fácilmente distinguibles de otros. Es el método de ordenamiento más primitivo.

Considerando entonces estas particulares características del complejo algarrobo, no bastan los métodos taxonómicos basados en la observación subjetiva de descriptores, para comenzar el proceso de ordenamiento. Estudios previos sobre especies afines del género (Verga, A. 1995; Joseau, J. et al. 2005; Verga, A. and Gregorius H.R. 2007) han demostrado que la caracterización morfológica, mediante taxonomía numérica, basada en rasgos de hoja y fruto, permite obtener grupos de individuos con características genéticas comunes en un grado de detalle mucho mayor que el alcanzado mediante la sistemática clásica. A determinado grado de diferenciación morfológica se ha observado que pueden separarse grupos, que por sus distancias genéticas

obtenidas con marcadores moleculares, alcanzan niveles entre ecotipos y sub-especies, por lo cual este método de análisis se presenta suficientemente confiable a la vez de práctico por su bajo costo.

Otra labor realizada en este trabajo para el ordenamiento es la caracterización ecológica de las unidades de uso y conservación, definidas en esta primera instancia mediante el método morfológico.

El método adoptado es la caracterización de los sitios que ocupa cada unidad, tanto a nivel regional como local, utilizando la metodología de trabajos similares (Sindel, M. and Michael, P. W. 1992; Villaseñor, J. y Tellez-Valdés, O. 2004; Téllez Valdés, O. et al., 2004). Se completa esta caracterización con una evaluación del efecto de los distintos tipos de suelos y de la actividad humana sobre las distribuciones potenciales predichas por los métodos bioclimáticos utilizados en la literatura citada. Esta caracterización permite establecer las condiciones del ambiente físico, biológico y antrópico en el cual se desarrolla cada unidad. De esa descripción surgen hipótesis sobre las adaptaciones de estas unidades al ambiente en que vegetan para dar lugar a una segunda etapa de ordenamiento del recurso con mayor el grado de detalle.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Árboles semilleros

En la Tabla 1 se muestra el número de individuos marcados en sucesivas campañas de cosecha realizadas entre los años 2001 y 2007. De gran parte de los individuos marcados se tomaron muestras de hojas y frutos para herborizar, se localizó a cada individuo cosechado mediante un posicionador geográfico (GPS). Se efectuaron mediciones sobre el árbol y el sitio, siguiendo la metodología y planillas de cosecha del Banco Nacional de Germoplasma de *Prosopis* (BNGP) de la FCA-UNC (Karlin et al., 2005). En muchos casos se tomaron fotografías de cada individuo.

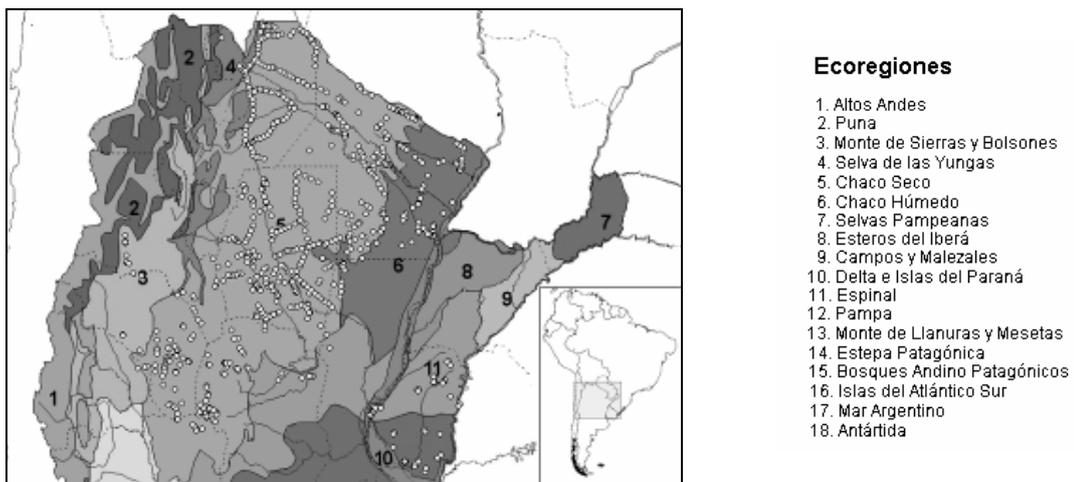
La información acumulada sobre este material, si bien es algo fragmentaria, puede considerarse sin precedentes para una especie forestal nativa en nuestro país y es el fruto del esfuerzo sostenido de varios equipos de trabajo.

**Tabla 1:** Composición del material base de estudio. La clasificación indicada corresponde a la realizada a campo, salvo para *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* e híbridos entre estas dos especies, que fueron determinados mediante taxonomía numérica y marcadores isoenzimáticos según los métodos descritos por Verga (1995).

Clasificación	Nro. de árboles semilleros muestreados
<i>Prosopis alba</i>	452
<i>Prosopis nigra</i>	194
<i>Prosopis chilensis</i>	73
<i>Prosopis flexuosa</i>	68
<i>Prosopis hassleri</i>	44
<i>Prosopis chilensis</i> x <i>Prosopis flexuosa</i>	21
Otros híbridos	24
Sin identificar	121
<b>TOTAL</b>	<b>997</b>

En la Figura 1 se presenta la distribución geográfica de los árboles semilleros marcados. Corresponden a las regiones fitogeográficas del Chaco árido y parte del Monte (*Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* e híbridos interespecíficos), Chaco semiárido y subhúmedo, Espinal Norte y Pampeana (*P. alba*, *P. nigra* y *P. hassleri*, e híbridos interespecíficos).

Debido a que el objetivo de estas campañas fue la conformación del material base para programas de mejoramiento genético, el tipo de muestreo realizado no respondió a los requerimientos de un estudio de distribución de las especies, subespecies o ecotipos y su relación con el ambiente. En general se procedió en forma sistemática al marcado de árboles a distancias regulares sobre rutas. Si bien se evitó una selección estricta del material muestreado, en cada punto de muestreo se prefirió cosechar individuos sanos y de buena forma, elegidos entre lo existente en el área.



**Figura 1:** Distribución geográfica de los árboles semilleros marcados. Cada círculo representa un único árbol o un grupo de árboles.

### Clasificación morfológica

Para realizar la clasificación se ha tomado como unidad taxonómica operativa (OTU en su sigla de habla inglesa) al individuo. Cada individuo fue evaluado mediante la medición de 22 caracteres de hoja y fruto (ver Anexo I), en algunos casos con cinco y en otros con diez repeticiones.

A partir de una tabla de medias por individuo para cada carácter se obtuvo una matriz de distancias euclídeas mediante el análisis de conglomerados del programa InfoStat (2007) con estandarización previa de los datos. Mediante el método UPGMA (Unweighted pair-group method, arithmetic average) del módulo SAHN CLUSTERING del programa NTSyS (1997) se construyó un dendrograma conteniendo la totalidad de los árboles analizados.

Los grupos morfológicos se formaron determinando un valor umbral de distancia euclídea, considerando integrantes de cada grupo aquellos individuos que se diferencian entre sí por debajo del umbral establecido (Distancia Euclídea = 5). La bondad del agrupamiento se analizó mediante el método “Análisis Discriminante” del paquete de “Análisis Multivariado” del programa InfoStat (2007).

Se construyó un dendrograma resumen a partir de una nueva matriz de distancias utilizando como criterio de agrupamiento de los datos la pertenencia de cada individuo al grupo establecido previamente, mediante los mismos métodos indicados más arriba.

Por otro lado, a fin de ilustrar sobre las características morfológicas de los grupos formados, se establecieron “Árboles Tipo”, incluyendo en la construcción de una nueva matriz de distancias euclídeas un individuo “virtual” por cada grupo, cuyos valores para cada carácter fueron iguales a los valores medios para cada grupo en cuestión. Una vez obtenida la matriz de distancias, se identificó un individuo por grupo (“árbol tipo” del grupo), utilizando como criterio de selección la menor distancia euclídea con el individuo “virtual” del grupo.

### **Caracterización climática**

Mediante la utilización del procedimiento “PREDICT” del módulo “ECOLOGICAL NICHE MODELING” del programa DIVA-GIS (Hijmans et al., 2001). se estableció el área de distribución geográfica de cada grupo morfológico en función de parámetros ambientales siguiendo el método BIOCLIM (Nix 1986, Busby 1991, McMahon et al. 1996). La información climática que utiliza este programa es una grilla de resolución de 2.5 minutos de grado de latitud y longitud para todo el globo, realizada en base a registros climatológicos de la serie 1950 – 2000 (Hijmans, R.J. et. al. 2005).

En el Anexo II se presenta la lista de parámetros climáticos utilizados por el método BIOCLIM para el cálculo del área de distribución.

Este método puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Se extraen los valores de cada uno de los parámetros climáticos pertenecientes al cuadro de la grilla de datos climáticos donde se ubica cada individuo.
2. Si en una misma cuadrícula existe más de un individuo se considera sólo un caso.
3. Para cada parámetro se calcula la media y la varianza considerando todos los casos involucrados.
4. Se establecen, para cada parámetro, los valores correspondientes al percentil 0.025 y 0.975. Estos valores son considerados los extremos posibles de cada parámetro climático para la presencia del grupo de individuos analizado.
5. En un área establecida por el usuario se analiza cada cuadrícula. Si una cuadrícula presenta algún valor de cada parámetro ambiental fuera de los extremos calculados se le asigna un valor de probabilidad 0. Al resto de las cuadrículas se le asigna un valor de probabilidad calculado a partir de las probabilidades para cada parámetro ambiental según una distribución normal con la media y la varianza ya calculadas para cada parámetro.
6. En función de los valores de probabilidad hallados se clasifica en seis clases cada cuadrícula del área bajo análisis: 1. Not situable, 2. Low, 3. Medium, 4. High, 5. Very High, 6. Excelent.

Una vez obtenidas las distribuciones geográficas “potenciales” de los grupos morfológicos mediante este método, se compararon entre sí, generando un dendrograma a partir de una matriz de distancias euclídeas entre ambientes. El dendrograma surge de la comparación entre los distintos valores obtenidos del análisis BIOCLIM para cada cuadrícula de igual posición geográfica en cada una de las grillas para cada grupo morfológico.

Para el caso particular de los grupos morfológicos de *Prosopis alba* se caracterizó cada uno de sus ambientes “potenciales” presentando las medias para 19 parámetros climáticos, calculadas a partir de los valores hallados en cada uno de los sitios donde se encuentra cada individuo. A fin de identificar diferencias significativas entre las medias correspondientes a cada grupo morfológico se realizó un Análisis de Varianza para cada parámetro.

### **Caracterización edáfica**

Esta caracterización se realizó únicamente para dos grupos morfológicos diferenciados en *Prosopis alba*, especie prioritaria de los proyectos mencionados.

Para este análisis se utilizó el Mapa de Suelos de la República Argentina (Godagnone, R, et. al. 2002). Se estudió la composición edáfica a nivel de orden de suelos según el sistema de clasificación norteamericano (Soil Taxonomy, 1999) para cada área potencial de distribución correspondiente a cada grupo morfológico de *Prosopis alba*.

A fin de determinar si existe “preferencia” por algún orden de suelo para los dos grupos morfológicos de *Prosopis alba*, se comparó la frecuencia de individuos observada sobre los distintos órdenes de suelos, con la esperada, calculada en función de la distribución de superficies de los órdenes de suelos en el área muestreada de ambos grupos. Para conocer si estadísticamente existen diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas según una distribución aleatoria respecto de los suelos, se realizó la prueba de  $\chi^2$ . También se calculó la media de altura de árbol por tipo de suelo y se realizó un análisis de varianza para conocer si estadísticamente las diferencias entre medias fueron significativas.

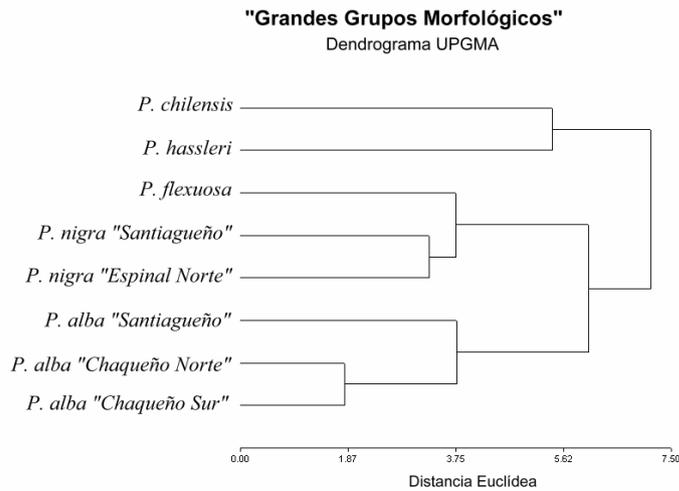
### **Calidad de sitio**

Con el objeto de resumir en un mapa las áreas de calidad de sitio, en función tanto del clima como del suelo, para los dos grupos morfológicos de *Prosopis alba* analizados, se combinaron las grillas de aptitud de clima obtenidas con el método BIOCLIM y la de suelos. Para ello, al valor de cada cuadrícula de la grilla BIOCLIM se lo multiplicó por un factor, según el suelo a que pertenece la cuadrícula en cuestión. El factor que se utilizó fue el obtenido de dividir el valor medio de altura de los árboles para el suelo en cuestión sobre la media general de altura del grupo.

## **3. RESULTADOS**

### **Clasificación morfológica**

Buena parte de la totalidad de los árboles estudiados puede agruparse según el dendrograma de la figura 2. Los “grandes grupos morfológicos” formados se presentan con la denominación de la especie más afín a la morfología de cada grupo. Un análisis más detallado de cada gran grupo permite su diferenciación en grupos más reducidos, como así también, en la clasificación general de los árboles individuales, existen otros grupos menores de características intermedias entre la morfología de los “grandes grupos” que aquí se presentan.



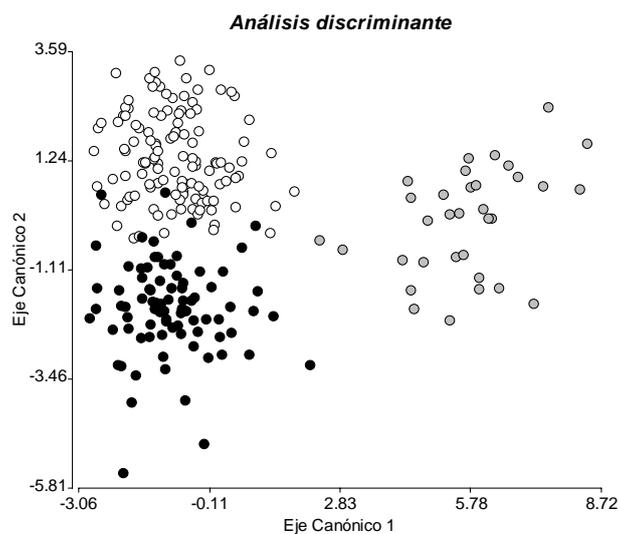
**Figura 2:** Dendrograma UPGMA que relaciona la morfología de 8 grandes grupos de individuos de la región Chaqueña y Espinal Norte. Cada gran grupo se identifica mediante el nombre de la especie taxonómica de morfología más afín al grupo.

Debido a que este trabajo busca un ordenamiento del recurso genético a nivel regional, basamos el análisis en estos grandes grupos, cuyas diferencias morfológicas se encuentran a nivel de especies o subespecies.

En los casos de *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y *P. hassleri*, la diferenciación a nivel de estos “grandes grupos” morfológicos se hace sencilla, utilizando las características particulares de cada especie, siguiendo las claves tradicionales. Para el caso de los dos grupos de *P. nigra*, por tratarse de ambientes muy disímiles, especialmente considerando la Provincia de Entre Ríos, donde está presente otra especie estrechamente emparentada, *P. affinis*, de foliólulos y frutos mucho más pequeños y que tiene una evidente influencia en la morfología del grupo aquí denominado como *P. nigra* “Espinal Norte”; la diferenciación con el grupo “Santiagoño” se hace sencilla y alcanza también prácticamente el nivel de especie. Por el contrario, los tres grupos hallados en *P. alba*, si bien ya intuitos por observaciones a campo por algunos investigadores (Mauricio Ewens, comunicación personal), constituyen una novedad. Debido a esto daremos especial atención a las características morfológicas y de distribución geográfica de estos tres grupos.

En la Figura 3 se muestra la distribución de los puntos que representan cada uno de los árboles de *Prosopis alba* en los dos ejes canónicos resultantes del análisis discriminante y a continuación, en la Tabla 2, la tabla de clasificación cruzada.

En ambos casos queda demostrada una significativa diferencia entre estos tres grupos respecto de los caracteres morfológicos analizados.



**Figura 3:** Distribución de los puntos que representan cada árbol de los tres grupos morfológicos de *Prosopis alba* en función de los dos ejes canónicos. Puntos negros: *P. alba* “Santiagoño”, Puntos Blancos: *P. alba* “Chaqueño Norte”, Puntos grises: *P. alba* “Chaqueño Sur”.

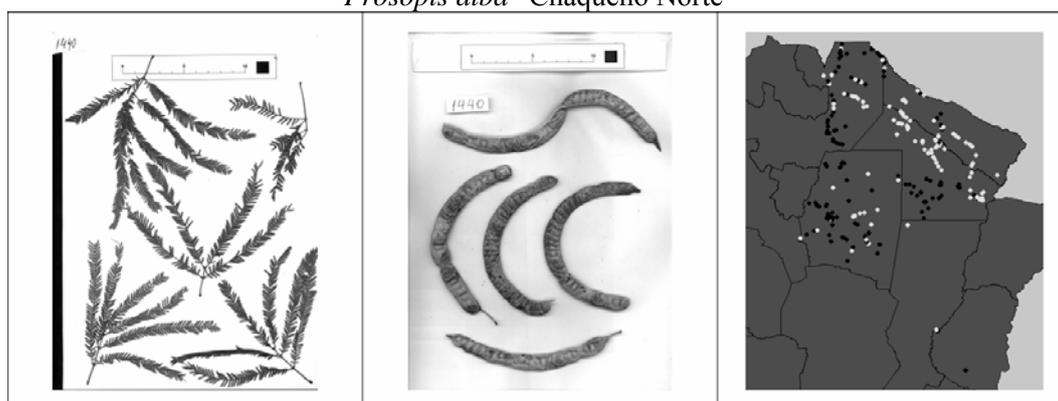
**Tabla 2:** Tabla de clasificación cruzada. En función de los parámetros hallados para cada grupo diferenciado mediante el análisis de conglomerados se reclasifica cada árbol. La tasa de error total de 2.92 se considera muy baja, por lo que los grupos son significativamente diferentes entre sí.

Grupo	(1)	(2)	(3)	Total	Error (%)
(1) <i>P. alba</i> “Santiagoño”	79	4	0	83	4.82
(2) <i>P. alba</i> “Chaqueño norte”	3	121	0	124	2.42
(3) <i>P. alba</i> “Chaqueño Sur”	0	0	33	33	0
Total	82	125	33	240	2.92

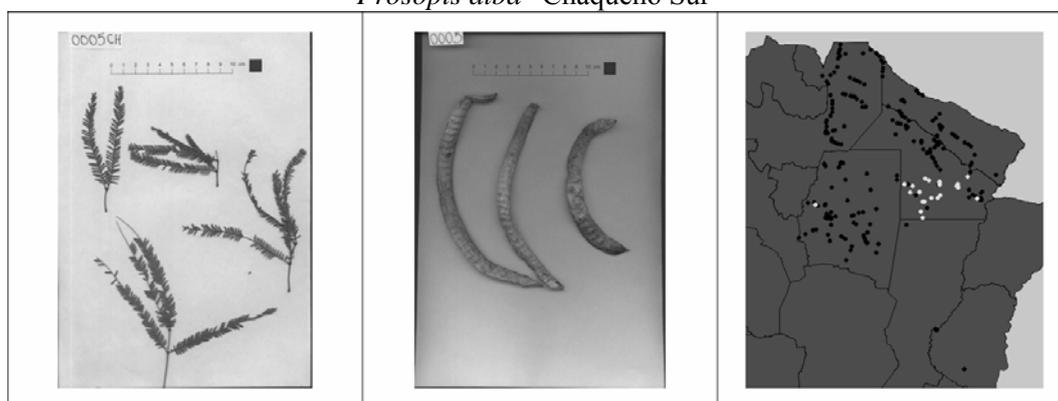
En la Figura 4 se presentan hojas y frutos de los “árboles tipo” hallados para los tres grupos morfológicos diferenciados de *Prosopis alba* y la posición geográfica de los árboles muestreados correspondientes a cada grupo (Puntos claros) respecto del total de individuos de *P. alba* identificados (Puntos negros).



*Prosopis alba* “Chaqueño Norte”



*Prosopis alba* “Chaqueño Sur”



**Figura 4:** Imágenes de hojas y frutos y posición de los individuos para los tres grupos morfológicos diferenciados de *Prosopis alba*.

A modo de clave se presenta la Tabla 3 donde se indican las medias, valores máximos y mínimos por grupo morfológico para cada carácter analizado.

**Tabla 3:** Medias, valores mínimos y máximos de los caracteres morfológicos estudiados correspondientes a cada grupo morfológico de *P. alba*. Letras iguales corresponden a diferencias no significativas entre grupos morfológicos. (Para el significado de las abreviaturas ver Anexo D).

Variable	<i>P. alba</i> “Santiagoño”			<i>P. alba</i> Chaqueño “Norte”			<i>P. alba</i> Chaqueño “Sur”		
	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx
LPE	31.57 <b>A</b>	15.6	48.4	24.59 <b>B</b>	11.4	41	26.81 <b>B</b>	14.8	51.6
NPI	2.07 <b>A</b>	1.2	3.1	2.39 <b>B</b>	1.6	3.8	2.66 <b>C</b>	2	3.6
LPI	95.83 <b>A</b>	70.6	125.22	83.95 <b>B</b>	58.4	117.4	90.93 <b>A</b>	61.2	115.2
NFOL	31.72 <b>A</b>	22.2	44.3	36.5 <b>B</b>	25.2	49.5	37.85 <b>B</b>	31.4	51.4
DIFOL	3.09 <b>A</b>	2.21	4.37	2.34 <b>B</b>	1.8	3.3	2.43 <b>B</b>	1.84	3.09
LFOL	0.94 <b>A</b>	0.67	1.24	0.65 <b>B</b>	0.46	0.93	0.69 <b>B</b>	0.47	1.04
AFOL	0.16 <b>A</b>	0.11	0.2	0.14 <b>B</b>	0.1	0.19	0.12 <b>C</b>	0.09	0.17
L-AFOL	5.97 <b>A</b>	4.05	7.45	4.72 <b>B</b>	3.61	6.2	5.85 <b>A</b>	4.88	7.67
FALC	0.95 <b>A</b>	0.92	0.97	0.95 <b>B</b>	0.91	0.97	0.97 <b>C</b>	0.96	0.99
ARFOL	0.13 <b>A</b>	0.06	0.21	0.08 <b>B</b>	0.04	0.15	0.08 <b>B</b>	0.04	0.16
AP-TOT	0.17 <b>A</b>	0.15	0.19	0.18 <b>B</b>	0.16	0.2	0.2 <b>C</b>	0.18	0.22

APICE	0.81 <b>A</b>	0.76	0.86	0.81 <b>A</b>	0.75	0.87	0.92 <b>B</b>	0.84	0.99
LFR	171. <b>AB</b>	100	242	167 <b>A</b>	72	234	180 <b>B</b>	129	245
AFR	13.92 <b>A</b>	10.12	18.93	13.21 <b>B</b>	9.46	17.36	13.74 <b>AB</b>	10.63	18.33
GFR	4.6 <b>A</b>	3.2	6.1	4.52 <b>A</b>	3.2	6.44	4.46 <b>A</b>	3.2	5.53
A-GFR	3.08 <b>A</b>	1.96	4.3	2.99 <b>A</b>	1.64	4.1	3.13 <b>A</b>	2.18	4.25
FFR	2.29 <b>A</b>	1	3	2.23 <b>AB</b>	1.2	3	2.09 <b>B</b>	2	3
CFR	1.48 <b>A</b>	1	3	1.49 <b>A</b>	1	3.2	2.09 <b>B</b>	1	3
BFR	1.55 <b>A</b>	1	2	1.68 <b>A</b>	1	3	1.3 <b>B</b>	1	2

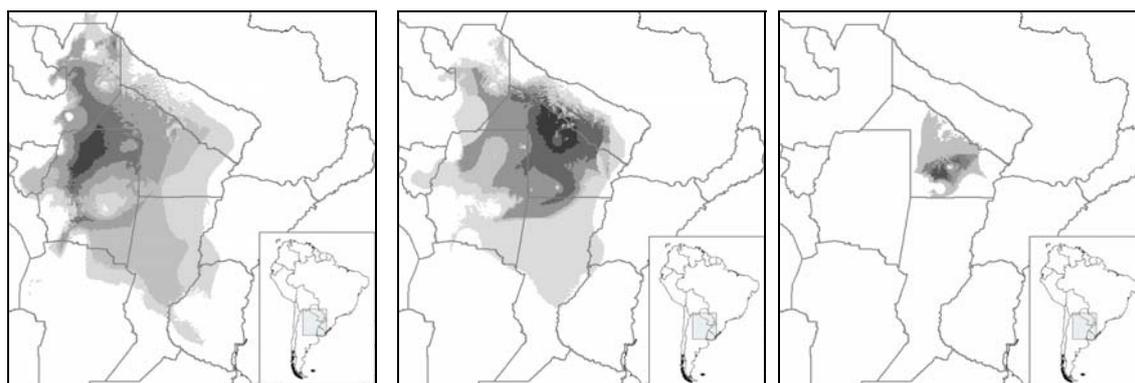
Se puede observar en la Tabla 3 y en la Figura 4 que las diferencias morfológicas más importantes se dan entre los algarrobos blancos chaqueños y santiagueños, especialmente a nivel de hoja. El santiagueño es de hojas mayores, con mayor largo y ancho de foliólulo, mayor longitud de pecíolo y de pina y mayor distancia entre foliólulos. Tiene un menor número de foliólulos por pina y son raras las hojas con tres pares de pinas. También se diferencian en cuanto a la forma del foliólulo. El santiagueño es más delgado y de ápice más aguzado que el chaqueño. Entre los dos tipos de algarrobo blanco chaqueño la diferenciación es significativamente menor.

### Distribución de los algarrobos en función de parámetros ambientales

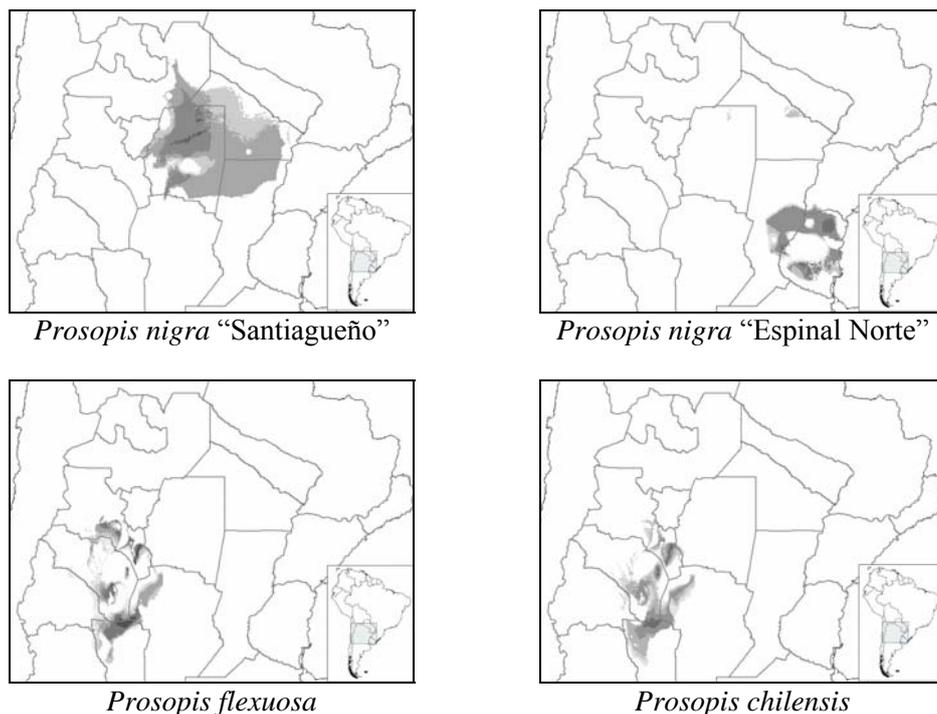
Mediante el análisis BIOCLIM presentado más arriba se calcularon las áreas más aptas desde el punto de vista bioclimático para cada grupo morfológico. Con las restricciones propias del tipo de muestreo realizado (ver Materiales y Métodos) se presentan en la Figura 5 las áreas obtenidas. Cada área está dividida en cinco clases de calidad climática. A mayor intensidad del gris, mejores condiciones climáticas para el grupo en cuestión.

Para el grupo *Prosopis alba* “Santiagueño”, el área que aparece como más apta climáticamente se encuentra al Oeste de los Departamentos Copo y Alberdi, NE de Jiménez y NW de Figueroa en la Provincia de Santiago del Estero.

Para el grupo *Prosopis alba* “Chaqueño Norte”, a ambos lados del Río Bermejo, el SE del Departamento General Güemes en el Chaco y el SW del Departamento Patiño en Formosa se presentan como las áreas más aptas climáticamente. Ambas áreas coinciden con el área de influencia del río Bermejo.



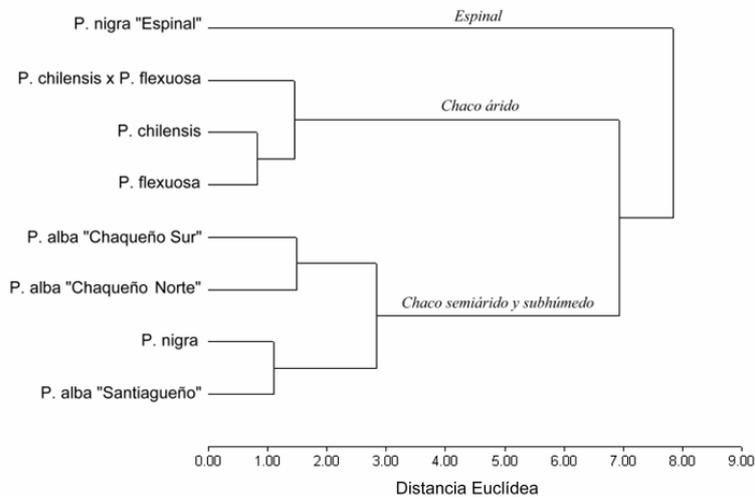
*Prosopis alba* “Santiagueño” *Prosopis alba* “Chaqueño Norte” *Prosopis alba* “Chaqueño Sur”



**Figura 5:** Mapas de aptitud climática para cada grupo morfológico de algarrobo de la región Chaqueña y Espinal Norte. Gris más oscuro representa un ambiente más adecuado para el grupo morfológico en cuestión (Análisis realizado mediante BIOCLIM).

En la Figura 6 se muestra el dendrograma que compara los distintos ambientes de cada grupo morfológico, considerando cada uno de los 15 parámetros indicados en el Anexo II. En primer lugar se separan claramente los tres “macroambientes” involucrados: Espinal, Chaco árido y el resto de la región Chaqueña, la cual a su vez se separa en un área “Santiagoña” y otra “Chaqueña”, coincidiendo con la mayoría de las clasificaciones ambientales de la región Chaqueña en un área más seca al Oeste y más húmeda al este (Chaco semiárido y subhúmedo). En el chaco árido coinciden los ambientes climáticos para las dos especies principales presentes: *Prosopis chilensis* y *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos. Por otro lado en la región semiárida del Parque chaqueño los ambientes de *P. alba* y *P. nigra* son muy coincidentes, mientras que las diferencias entre los ambientes de los dos tipos de *P. alba* hallados en el área húmeda son también mínimas. A esta escala podemos considerar como de distribución simpátrica aquellos grupos que cierran llaves en este dendrograma: *P. chilensis*, *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos; *P. alba* y *P. nigra* “Santiagoño” y *P. alba* Chaqueño Norte y Sur.

Dendrograma entre ambientes climáticos  
para algunas especies de algarrobo



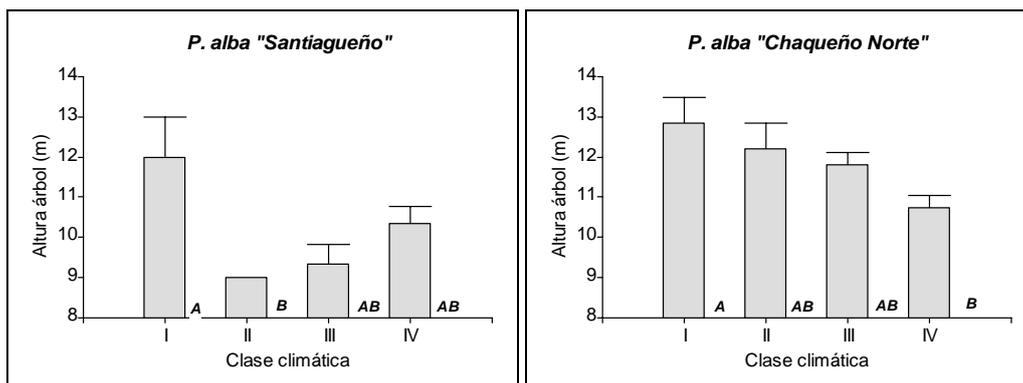
**Figura 6:** Dendrograma correspondiente a una matriz de distancias euclídeas entre los ambientes hallados por el método BIOCLIM para los grupos morfológicos de algarrobo de la región Chaqueña y Espinal Norte.

En el Anexo III se presentan las medias de 19 parámetros climáticos y sus diferencias significativas, correspondientes a los ambientes que ocupan los tres grupos morfológicos diferenciados de *Prosopis alba* en la región Chaqueña semiárida y subhúmeda.

De este análisis surge que, efectivamente, la mayor diferencia se encuentra entre el ambiente que ocupa *Prosopis alba* “Santiagoño” respecto de los otros dos grupos morfológicos (Chaqueño Norte y Sur). Las diferencias entre ambos ambientes se corresponden con las diferencias entre la región chaqueña semiárida y subhúmeda: El semiárido (ambiente de *Prosopis alba* “Santiagoño”) se caracteriza por una mayor amplitud térmica, una menor temperatura media anual, una estacionalidad más marcada de las precipitaciones y un régimen hídrico con menores precipitaciones en general (Ver Anexo III).

Entre los dos ambientes de *Prosopis alba* “Chaqueño”, no existirían diferencias significativas de régimen térmico, sin embargo *P. alba* “Chaqueño Sur” estaría bajo un clima con mayores precipitaciones anuales y una distribución de las lluvias más uniforme que *P. alba* “Chaqueño Norte”.

A fin de establecer uno de los efectos ambientales posibles sobre el crecimiento de los individuos, se calculó, a modo “exploratorio”, la altura media de los árboles ubicados en cada clase climática hallada por el método BIOCLIM para las áreas de dispersión de los dos principales grupos morfológicos de *Prosopis alba*. En la Figura 7 se presenta este resultado. A pesar de las importantes restricciones que impone el método de muestreo realizado (ver materiales y métodos), se puede observar, en los dos casos, una tendencia clara de mayor altura media de árbol para la clase I (“Excelente”) respecto del resto de las clases. Para este cálculo se consideraron únicamente árboles adultos y añosos, no incluyéndose árboles jóvenes.



**Figura 7:** Alturas medias de árbol por clase climática dentro del área de dispersión determinada por el método BIOCLIM para dos grupos morfológicos de *Prosopis alba*. Letras iguales indican diferencias no significativas entre clases climáticas.

### Distribución de dos grupos de *Prosopis alba* en función de los suelos

En la Tabla 4 se presenta el resultado del análisis de la distribución de los árboles respecto de los órdenes de suelos existentes en la región. Ambos grupos morfológicos presentan una mayor frecuencia de individuos en Alfisoles e Inceptisoles respecto de la esperada por el azar, en detrimento especialmente de los Molisoles.

**Tabla 4:** Comparación entre el número de árboles observado y esperado según una distribución aleatoria en función de la superficie que ocupa cada orden de suelo en el área de distribución de dos grupos morfológicos de *Prosopis alba* en la Región Chaqueña. En ambos casos las diferencias entre observado y esperado es altamente significativa

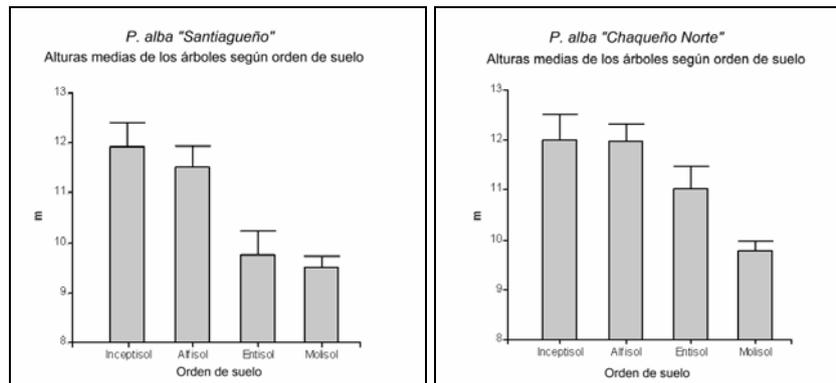
Orden	Área relativa	<i>P. alba</i> "Santiagoño"		<i>P. alba</i> "Chaqueño Norte"	
		Observado	Esperado	Observado	Esperado
Alfisoles	0.180	28	14	38	20
Inceptisoles	0.013	2	1	13	1
Entisoles	0.149	8	12	18	17
Molisoles	0.591	34	46	37	66
Aridisoles	0.014	1	1	0	2
Udortentes	0.007	0	1	0	1
Sin determinar	0.046	4	4	5	5

Al igual que para las distintas clases climáticas, se realizó a modo "exploratorio", el análisis de las alturas medias de los árboles según el orden de suelo que ocupan en sus áreas de distribución los dos grupos morfológicos de *P. alba*, "Santiagoño" y "Chaqueño Norte".

Para los dos suelos de ocupación significativamente más frecuente respecto de la esperada por el azar: Inceptisoles y Alfisoles, las alturas medias de los árboles, pertenecientes a ambos grupos morfológicos, son mayores que las observadas en el resto de los órdenes de suelos (Figura 8). Nuevamente, considerando las restricciones debido al tipo de muestreo realizado, podemos considerar estos resultados como orientativos.

Obsérvese que en ambos casos (clases climáticas y órdenes de suelo) *Prosopis alba* "Santiagoño" presenta una altura media en general inferior al *P. alba* "Chaqueño Norte".

Dentro del orden Alfisoles, el suborden de suelo más frecuente para ambos grupos de *Prosopis alba* es el Acualf. Según la descripción de Soil Taxonomy (1999) "...se caracterizan por estar estacionalmente saturados con agua por períodos prolongados y asociados generalmente con una capa de agua freática fluctuante y cercana a la superficie. Las condiciones reductoras y la falta de oxigenación que afecta cíclicamente la zona de crecimiento radicular, quedan evidenciados en el perfil del suelo por coloraciones grisáceas y por la presencia de moteados de hierro. Cuando la freática se encuentra en profundidad, las condiciones de saturación con agua pueden ser consecuencia de la baja conductividad hidráulica del horizonte de acumulación de arcilla, que restringe el movimiento del agua hacia abajo. Normalmente los Acualfes se ubican en áreas planas o cóncavas expuestas a encharcamiento durante las épocas de lluvias dado el escaso escurrimiento superficial y al aporte de aguas de escorrentía de sectores vecinos más elevados".



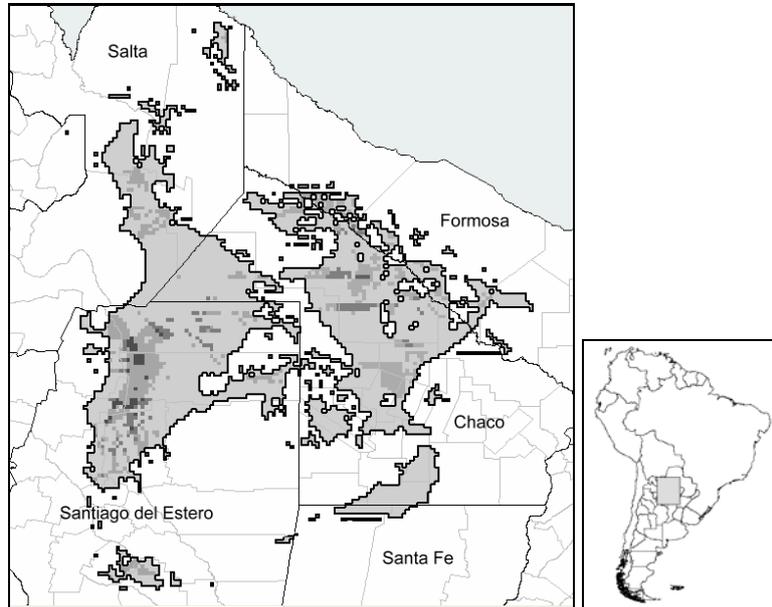
**Figura 8:** Alturas medias de los árboles según el tipo de suelo que ocupan los grupos morfológicos de *Prosopis alba*: "Santiagoño" (izquierda) y "Chaqueño Norte" (derecha) en su área de distribución (no se incluyen los aridisoles y udortentes por el escaso o nulo número de individuos involucrados).

Por otro lado el suborden Acupetes es el de mayor frecuencia dentro de los Inceptisoles ocupados por ambos grupos de *Prosopis alba*. Su descripción según Soil Taxonomy (1999) también responde a características similares al de los Acualfes en cuanto a régimen hídrico y topografía: "Son los Inceptisoles ubicados en áreas planas, deprimidas e inundables con drenaje pobre y capa de agua freática cercana a la superficie por lo menos durante algún período del año. El horizonte superficial es de coloración grisácea y negra y hay evidencias de hidromorfismo, tales como moteados de hierro o coloraciones neutras o verdosas, que son indicativas de que el suelo se satura con agua durante períodos prolongados. Algunos de estos suelos poseen una condición de drenaje algo mejor, pero en estos casos pueden presentar considerables tenores de sodio en el complejo de intercambio".

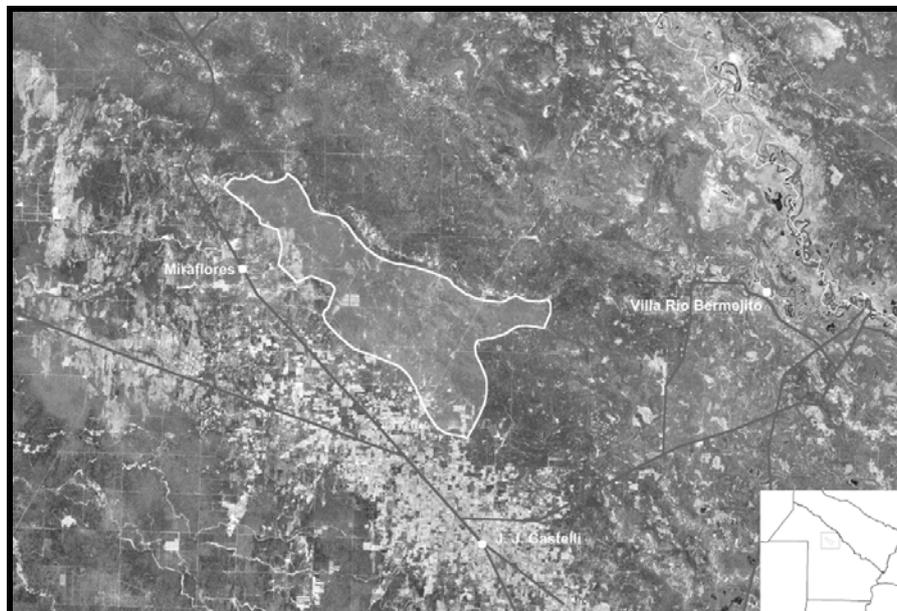
### Calidad de Sitio

En la Figura 9 se presentan las áreas potencialmente más propicias para los dos grupos morfológicos de *Prosopis alba*: el "Santiagoño" al oeste y el "Chaqueño Norte" al este. Estas áreas surgen de la combinación de las dos clases climáticas y subórdenes de suelos más aptas para cada grupo. Las zonas en gris más oscuro representan, dentro de estas áreas, los sitios potencialmente de mejor calidad para cada uno de los grupos involucrados en el análisis, donde la combinación de suelo y clima sería óptima.

A modo de ejemplo para un nivel de detalle mayor, se presenta la Figura 10 indicando un área óptima desde el punto de vista de suelo y clima para el grupo morfológico *P. alba* “Chaqueño Norte” en la Provincia del Chaco.



**Figura 9:** Áreas estimadas como potencialmente más aptas para el crecimiento de *Prosopis alba* “Santiaguense” (al oeste) y *P. alba* “Chaqueño Norte” al este considerando clima y suelo. Gris más oscuro indica zonas con una combinación de clima y suelo óptima para cada grupo morfológico. A la derecha posición relativa en Sudamérica del área mapeada.



**Figura 10:** Detalle de parte del área potencialmente más apta desde el punto de vista climático para *P. alba* “Chaqueño Norte” en la Provincia del Chaco. Al Este de la localidad de Miraflores

se indica el área de suelo correspondiente a un Alfisol, suborden Acualf, que aparecería como muy adecuado para este grupo morfológico.

#### 4. DISCUSIÓN

La clasificación morfológica de los Algarrobos a nivel regional permite diferenciar grandes grupos que pueden ser asociados a especies taxonómicas. En este contexto y manteniendo esta escala, observamos que *Prosopis alba* puede ser subdividido en tres grandes grupos morfológicos que se diferencian significativamente por un número importante de caracteres de hoja y fruto y a un nivel equivalente al encontrado entre especies taxonómicas.

Los análisis realizados sobre estos grupos para confirmar la bondad de la clasificación alcanzada, indican que sus diferencias morfológicas son de importancia. Mediante una clave adecuada podrían ser diferenciados sus individuos inclusive utilizando únicamente caracteres de hoja, especialmente entre *Prosopis alba* “Santiagoño” y ambos “Chaqueños”.

Del análisis de la distribución espacial de los individuos pertenecientes a los tres grupos de *Prosopis alba* se puede inferir que ocupan ambientes que también se diferencian significativamente desde el punto de vista bioclimático. Asimismo, respecto de la “preferencia” de suelos, habría diferencias entre el grupo Santiagoño y Chaqueño. Este último se encuentra presente 13 veces más frecuentemente que lo esperado por el azar en Inceptisoles, mientras que el grupo Santiagoño sólo el doble (Tabla 4). Respecto de los Alfisoles no habría diferencias en el comportamiento de ambos grupos, que aparecen con una frecuencia del doble de la esperada por el azar en ambos casos.

Por otro lado el análisis de las alturas medias de los árboles de ambos grupos en función de las clases climáticas respalda la metodología de clasificación bioclimática utilizada.

Como indicáramos en la introducción, diferencias morfológicas en este grupo de especies están relacionadas con diferenciación genética. Si bien habrá que comprobarlo en estudios genéticos futuros, podemos afirmar que, en general, el grado de diferenciación genética hallado entre grupos morfológicos de estas características implica que pueden ser considerados como unidades con cierta independencia evolutiva. Considerando entonces que además existen importantes diferencias ecológicas entre las áreas de dispersión de estos grupos podríamos inferir que muy probablemente podrían presentar adaptaciones diferenciales, por lo que estaríamos ante por lo menos dos ecotipos bien diferenciados de *Prosopis alba*.

De confirmarse esta conclusión tendrá incidencia en las estrategias, tanto de mejoramiento para el uso de estos recursos como para su conservación.

El patrón de diferenciación entre estos grupos no escapa a lo ya observado entre otros grupos del género (Verga, A. 1995; Joseau, J. et. al. 2005): Las diferencias morfológicas no son netas, los ambientes donde se distribuyen se superponen en algunas áreas y existen zonas donde aparecen como simpátricos (con seguridad en el SE Salteño y áreas limítrofes entre las provincias de Chaco y Santiago del Estero). La diferenciación entre los grupos aparece entonces con características continuas, donde tanto la morfología de los individuos, como las condiciones ambientales que ocupan, presentan en buena parte toda una gama de formas intermedias que “conectan” a los grupos en cuestión. Sin embargo los “núcleos” de cada grupo son perfectamente diferenciables entre sí y posee características propias.

Las características topográficas del Parque Chaqueño Semiárido y Subhúmedo que pueden asociarse a una gran llanura, contribuyen a que este patrón de diferenciación “continua” se manifieste con más fuerza aún que lo observado en el Chaco árido. Allí existe una localización más neta de los ambientes por la influencia de las sierras. En esta región se observa una distribución de *Prosopis chilensis* asociada al pedemonte, donde existen aportes extra de agua por escorrentía y subsuperficial, mientras que *P. flexuosa* ocupa las llanuras. En cambio, en el área de distri-

bución de *P. alba* las diferencias ambientales son más sutiles, continuas y dispersas geográficamente.

Tanto por la observación a campo como por el análisis realizado sobre la frecuencia y crecimiento en altura de los distintos grupos de *Prosopis alba* respecto de los suelos, podemos afirmar que esta especie de algarrobo blanco, al igual que el algarrobo blanco del Chaco árido, *P. chilensis*, ocupa aquellos sitios donde existe un aporte hídrico adicional por escorrentía o subsuperficial que en el caso particular del Chaco semiárido y subhúmedo están asociados a áreas deprimidas y cursos de agua.

Si bien no demostrado en el presente trabajo, pero si respaldado por la observación a campo, podemos afirmar que a ese patrón “natural” de distribución debemos superponerle con igual fuerza un patrón “antrópico” de distribución.

La dispersión del algarrobo en general está también asociada directamente a la actividad humana.

Este patrón “antrópico” de dispersión del algarrobo puede explicarse atendiendo a las características generales de este grupo de especies, al tipo de ambiente a que se ha adaptado naturalmente y a su capacidad de adaptación rápida a nuevos nichos (Verga, A. 2005).

Se trata de especies pioneras, heliófilas, con mecanismos de dispersión endozoicos y con gran capacidad de ocupar áreas “libres”. Estas características agresivas del género quedaron en evidencia en Australia y África, donde distintas especies introducidas como exóticas se comportaron en muchos casos como invasoras, transformándose en un grave problema (FAO, 2007; Aboud, A. et. al. 2005; DEFID Department for International Development, UK, 2007).

Si observamos su distribución “natural” vemos que estas especies estarían adaptadas justamente a condiciones “azonales”, apareciendo en áreas donde existen aportes regulares de sedimentos y humedad como producto de escorrentías temporarias y también en algunos casos como especie pionera “cicatrizante” en áreas liberadas del monte “zonal”. El caso de *Prosopis ruscifolia* (Vinal), que no ha formado parte de este trabajo, pero que tiene una fuerte presencia en todo el área de estudio, podría considerarse como el componente del *complejo Algarrobo* de esta región adaptado a la condición azonal más extrema para áreas con aportes adicionales de agua y sedimento, hallándose casi exclusivamente en bajos inundables y áreas perturbadas aleatorias; *P. alba* en cambio, estaría asociado a una condición menos extrema, intermedia entre *P. ruscifolia* y *P. nigra*, quien ocupa las áreas más altas, más secas.

Este patrón de distribución “natural”, sobre áreas sujetas a perturbaciones periódicas, se acerca mucho a las condiciones que impone al ambiente la actividad humana, generando áreas libres como producto del desmonte y el pastoreo y en muchos casos con aportes adicionales de agua, en forma directa por riego, por aumento de la napa freática o como producto de la modificación del microrelieve.

En el caso particular del Chaco árido, *Prosopis chilensis*, asociado naturalmente al pedemonte, aparece también al borde de las represas de los puestos ubicados en plena llanura, en áreas de riego y en general como componente infaltable en el ambiente “peridoméstico”. Esta distribución de la especie fuera del “ámbito natural”, permite un mayor contacto con la otra especie de algarrobo de la región, *P. flexuosa*, algarrobo negro que ocupa las áreas “zonales”. Esto trae como “efecto secundario” una explosión en la aparición de híbridos interespecíficos en estas áreas perturbadas. En el seno de estos enjambres híbridos se estarían generando formas nuevas más adaptadas a los nuevos nichos. Contribuye a esta idea la observación frecuente de grupos de híbridos con buena sanidad y crecimiento, inclusive superior a las especies parentales.

Del mismo modo *Prosopis alba* en la región chaqueña semiárida especialmente, pero también en la subhúmeda, aparece casi como especie forestal “dominante” al borde de rutas, inclusive en áreas de “quebrachal” donde naturalmente el algarrobo aparece como elemento secundario “raro”. Este fenómeno puede explicarse, además del “respeto cultural” por el género, por la

modificación del microrelieve que genera la banquina, aumentando el aporte de agua sobre un espacio libre para dispersarse. También se lo encuentra siempre asociado a los pueblos y caseríos, donde no faltan fuentes de agua extra que complementen las precipitaciones y el grado de perturbación del ambiente es alto.

Siguiendo el paralelo con el comportamiento de las especies de algarrobo del Chaco árido, la creación de nuevos nichos como resultado de las perturbaciones de origen antrópico en el Chaco semiárido y subhúmedo tienen por efecto que *Prosopis alba* encuentre nuevos puntos de contacto con otras especies afines como *P. ruscifolia*, *P. nigra* y *P. hassleri* dando lugar a enjambres híbridos con la aparición de una mayor diversidad que queda expuesta a las nuevas presiones de selección que aparecen en estos nuevos ambientes.

A pesar del tipo de muestreo realizado, con un componente importante sobre rutas y áreas pobladas, vemos que existe una mayor frecuencia de individuos de *Prosopis alba* sobre suelos bajos y asociados a cursos de agua, por lo que el patrón de distribución “antrópico” no alcanzaría a borrar el fuerte efecto de la distribución “natural”. Probablemente la distribución a una escala de mayor detalle es producto de la combinación de ambos factores: por un lado las exigencias en cuanto a suelos y clima que determinarían la probabilidad de presencia a una escala regional y por otro lado el efecto de la actividad humana que condicionaría en buena parte la presencia “local” de la especie. De esta forma se podría explicar la observación común de que “alambrado de por medio” aparezca un algarrobal en un área dominada por el quebrachal, o que en una región de monte alto con algarrobos negros como especie secundaria, aparezcan algarrobales de *P. alba* en los alrededores de un poblado. En estos casos las condiciones de suelo y clima estarían dadas pero únicamente perturbaciones de origen antrópico aportan el espacio necesario para la dispersión de la especie.

Estas características particulares del algarrobo: tanto su adaptación a ambientes perturbados, como su capacidad de adaptación a nuevos nichos mediante la recombinación entre “componentes del complejo” pueden ser consideradas altamente positivas para su domesticación.

Un cultivo se da de hecho sobre un ambiente modificado, donde además se impide la competencia con otras especies forestales. También es de esperar que estas características faciliten el repoblamiento con algarrobo en áreas de monte degradado.

## 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo debe considerarse como una primera aproximación, a nivel regional, especialmente referida a *P. alba*, sobre la clasificación y distribución de esta especie, en el contexto de las otras especies referidas. Ahora resta aumentar el nivel de detalle tanto sobre los patrones de distribución como sobre los distintos componentes que conformarían esta especie a fin de obtener un panorama más acabado sobre la existencia de distintos ecotipos, sobre su caracterización adaptativa, relaciones entre sí y con el resto de las especies de algarrobo, a fin de orientar convenientemente tanto el uso del recurso como su conservación.

El tipo de muestreo realizado, dirigido a un objetivo distinto al del presente trabajo y la metodología de análisis para obtener las áreas de distribución (método con una componente especulativa importante), representan restricciones fuertes para extraer conclusiones sólidas sobre la distribución de estas especies y su posible comportamiento adaptativo “diferencial” inclusive a nivel regional.

Por el contrario queda probado firmemente que existen por lo menos dos formas morfológicas de *Prosopis alba* en la región chaqueña que se diferencian con cierta facilidad y que sus “núcleos” ocupan áreas con ambientes bioclimáticos significativamente distintos. También queda probado que el tipo de suelo, y más específicamente el régimen hídrico del suelo, tiene importancia en el patrón de distribución de *P. alba*.

El tercer componente de este trabajo: las observaciones a campo sobre el patrón de distribución de los algarrobos, aportan ideas del efecto de la actividad humana sobre la distribución de los algarrobos a una escala de mayor detalle, respecto de las “grandes áreas” determinadas por el clima y los suelos.

A partir de la información ganada por estas distintas vías podemos postular una serie de hipótesis para poner a prueba y así orientar trabajos futuros, dirigidos a un conocimiento más acabado sobre estos recursos genéticos para su uso y conservación eliminando la componente especulativa:

- 1) *P. alba* “Santiagueño” y *P. alba* “Chaqueño” se diferencian significativamente entre sí desde el punto de vista ecofisiológico.
- 2) *P. alba* “Santiagueño” y *P. alba* “Chaqueño” se diferencian genéticamente a un nivel de “subespecie” o superior.
- 3) Existen áreas donde ambas formas coexisten y se cruzan entre sí, apareciendo formas intermedias con cierta independencia genética. (Área para estudiar: Chaco Salteño)
- 4) Los parámetros climáticos y los tipos de suelos determinan la distribución a nivel regional, mientras que la actividad humana es el principal factor que determina la distribución local del algarrobo.
- 5) La actividad humana promueve la aparición de enjambres híbridos entre *P. alba*, *P. ruscifolia*, *P. nigra* y *P. hassleri*. En estos enjambres aparecen grupos de híbridos estables, con características adaptativas superiores a las especies parentales respecto de las condiciones ambientales especiales generadas por las perturbaciones antrópicas.

Estos estudios dirigidos a poner a prueba estas hipótesis deberían complementarse con estudios descriptivos:

- 1) Mapa de distribución del algarrobo a nivel del Parque chaqueño (mediante la combinación de sensores remotos, corroboración a campo y clasificación taxonómica).
- 2) Inventario genético a nivel de los “grandes grupos” morfológicos, equivalentes a especies y subespecies.
- 3) Localización y caracterización (morfológica, genética y ecofisiológica) de enjambres híbridos entre especies afines de algarrobo en la región chaqueña semiárida y subhúmeda.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen expresamente la participación del personal técnico y de apoyo de las unidades del INTA: IFFIVE, EEA Santiago del Estero, EEA Roque Sáenz Peña, EEA Concordia, EEA Colonia Benítez, EEA Yuto, EEA Catamarca, EEA La Rioja, Estación Forestal INTA Presidencia de la Plaza, Estación Forestal INTA Villa Dolores, AER Moscón; de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNSE, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, de la Universidad Católica de Santiago del Estero, de la Universidad Nacional de Formosa y de la Dirección de Bosques de la Provincia de Formosa, que colaboraron en las tareas de selección de árboles y recolección de material de herbario y propagación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

About, A. Kisoyan, P. and Coppock, D. 2005. Agro-Pastoralists' Wrath for the *Prosopis* Tree: The Case of the Il Chamus of Baringo District, Kenya. Research Brief 05-02-Parima.

Global Livestock Collaborative Research Support Program, University Of California, Davis.

- Busby, J.R. (1991) BIOCLIM - A Bioclimatic Analysis and Prediction System. In: Margules, C.R.& M.P. Austin (eds.) Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis. pp. 64-68. Canberra: CSIRO.
- DEFID Department for International Development – UK, 2007. *Prosopis* (mesquite, algarrobo):invasive weed or valuable forest resource? HDRA The organic Organization, FRP, Forestry Research Programme, DFID.
- FAO (2007), Estudio de las repercusiones de la introducción de la *Prosopis* en el África Sahe-liana. [www.fao.org/forestry/site/29439/es/](http://www.fao.org/forestry/site/29439/es/).
- Godagnone, R. Bertola, H. y Ancarola, M. 2002. Mapa de Suelos de Argentina. INTA-IGM.
- Hijmans, R. J., M. Cruz, E. Rojas, And L. Guarino. 2001. DIVA-GIS, version 1.4. A geographic information system for the management and analysis of genetic resources data. Manual. International Potato Center and International Plant Genetic Resources Institute, Lima, Peru.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978
- Joseau, J. Verga, A. Díaz, M. 2005. Los Recursos Genéticos de *Prosopis*. IDIA XXI, Año V, n° 8, Julio de 2005. 207-211.
- Joseau, M. J. Verga, A. Díaz M. del P. y Julio, N. 2006. Caracterización morfológica y genética de poblaciones del género *Prosopis* del Chaco semiárido del Norte de Córdoba y Sur de Santiago del Estero. Tema III. Desarrollo Forestal Zonas Áridas y Semiáridas. II Congreso Latinoamericano IUFRO. 23 al 27 de Octubre de 2006. La Serena, Chile. En CD. Desarrollo Edición: Carlos A. Norberto. SAGPyA-BIRF. 2005.
- Karlin U. O., Coirini R. y Zapata R. 2005. Recolección de germoplasma. Conservación de recursos forestales nativos en Argentina. En: El Banco Nacional de Germoplasma de *Prosopis*.
- McMahon, J.P., Hutchinson, M.F., Nix, H.A. and Ord, K.D. (1996). ANUCLIM Version 1 User'sGuide. Canberra: ANU, CRES.
- Nix, H.A. (1986). A biogeographic analysis of Australian Elapid snakes, in Longmore, R. (ed.)Atlas of Australian Elapid Snakes. Australian Flora and Fauna Series 8: 4-15.
- Sindel, M.and Michael, P. W. 1992. Spread and potential distribution of *Senecio madagascariensis* Poir. (fireweed) in AustraliaB. Austral Ecology. Volume 17 Issue 1 Page 21-26, March 1992.
- Téllez Valdés, O. Chávez Huerta, Y. Gómez-Tagle Chávez, A. y Gutiérrez Garduño, M. 2004. Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: estudio de cuatro especies de *Pinus*. Ciencia Forestal en México. 29(95) 61-83.

- United States Department of Agriculture Natural Resources. Conservation Service. 1999. Soil Taxonomy. "A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys". Second Edition 1999. 871p.
- Verga, A. 1995, "Genetische Untersuchungen an *Prosopis chilensis* und *P. flexuosa* (Mimosaceae) im trockenen Chaco Argentiniens. Göttingen Research Notes in Forest Genetics. Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Universität Göttingen ISSN 0940-7103, Nro. 19, 96 pp.
- Verga, A. 2005. La hibridación: Proceso clave para la evolución de complejos de especies y determinantes para implementar estrategias de uso y conservación. BAG, Basic and Applied Genetics. Revista de la Sociedad Argentina de Genética. ISSN BAG 1666-0390. Actas del XXXIV Congreso Argentino de Genética. Septiembre de 2005.
- Verga, A. Córdoba, A. Mottura, M. López Lauenstein, D. Melchiorre, M. Joseau, J. Carranza, C. Ledesma, M. Recalde, D. Tomalino, L. Mendoza, S. Vega, R. 2005. El Proyecto Algarrobo del INTA, IDIA XXI, Año V, n° 8, Julio de 2005. 201-206.
- Verga, A. and Gregorius H.R. 2007. "Comparing morphological with genetic distances between populations: A new method and its application to the *Prosopis chilensis* – *P. flexuosa* complex". *Silvae Genetica*, 2007, 56(2), 45-51.
- Villaseñor, J, Tellez-Valdés, O. 2004. Distribución Potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 75(2), 205-224.

## 8. PROGRAMAS

- DIVA-GIS. 2007. Versión 5.4. De distribución libre: [www.diva-gis.org](http://www.diva-gis.org)
- InfoStat – Versión 2007p. [www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar)
- NTSys. 1986-1997. Versión 2.01e. Applied Biostatistics Inc.

## ANEXO I

Caracteres morfológicos utilizados para taxonomía numérica

1	LPE	Largo de pecíolo (mm)
2	NPI	Número de pares de pinas
3	LPI	Largo de la pina (mm)
4	NFOL	Número de pares de foliólulos
5	DIFOL	Distancia entre foliólulos en la pina (mm)
6	LFOL	Largo del foliólulo (mm)
7	AFOL	Ancho del foliólulo (mm)
8	L-AFOL	Relación Largo/Ancho del foliólulo
9	FALC	Falcado (Relación entre la distancia desde el ápice hasta la base del foliólulo y la longitud de una línea que pasa por el centro del foliólulo)
10	ARFOL	Área del foliólulo (cm <sup>2</sup> )
11	AP-TOT	Relación entre la superficie del tercio superior del foliólulo respecto del área total del foliólulo

12	APICE	Relación entre el área del tercio superior del foliólulo respecto de una rectángulo que lo inscribe
13	ARTOT	Área total de la hoja (cm <sup>2</sup> )
14	L-DIFOL	Relación largo del foliólulo respecto de la distancia entre foliólulos en la pina
15	DIFOL-A	Relación de la distancia entre foliólulos en la pina respecto del ancho del foliólulo
16	LFR	Largo del fruto (cm)
17	AFR	Ancho del fruto (mm)
18	GFR	Grosor del fruto (mm)
19	A-GFR	Relación ancho/grosor de fruto
20	FFR	Forma del fruto (Clases:1- Recto, 2- Falcado, 3- Espiralado)
21	CFR	Color del fruto (Clases: 1- Amarillo, 2- Amarillo con manchas aisladas oscuras, 3- Prepondera el oscuro sobre pocas manchas amarillas, 4- Oscuro)
22	BFR	Forma del borde del fruto (Clases 1 Liso, 2- Con estrangulaciones, 3- Arrosariado)

## ANEXO II

Parámetros climáticos utilizados por el método BIOCLIM.

- Temperatura media anual
- Temperatura máxima del mes más cálido
- Temperatura mínima del mes más frío
- Rango de temperatura anual (amplitud térmica)
- Temperatura del cuatrimestre más húmedo
- Temperatura del cuatrimestre más seco
- Temperatura diurna mínima mensual
- Temperatura diurna media mensual
- Temperatura diurna máxima mensual
- Precipitación media anual
- Precipitación del mes más húmedo
- Precipitación del mes más seco
- Rango de precipitación anual
- Precipitación media del cuatrimestre más húmedo
- Precipitación media del cuatrimestre más seco

## ANEXO III

Comparación entre medias para 19 caracteres climáticos entre tres grupos morfológicos de *Prosopis alba* en la región Chaqueña Semiárida y Subhúmeda.

Alba I: *Prosopis alba* "Santiagoño"; Alba II: *Prosopis alba* "Chaqueño Norte"; Alba III: *Prosopis alba* "Chaqueño Sur". Letras iguales indican diferencias no significativas entre grupos morfológicos.

