

# Vigor de crecimiento y supervivencia de plantaciones de *Aspidosperma quebracho-blanco* y de *Prosopis chilensis* en el Chaco árido

*Growth vigour and survival of *Aspidosperma quebracho-blanco* and *Prosopis chilensis* plantations in the arid Chaco*

A. H. Barchuk<sup>1</sup> y M. P. Díaz<sup>1</sup>

Recibido en agosto de 1999, aceptado en julio de 2000.

## RESUMEN

Se evaluó el éxito del enriquecimiento con especies arbóreas nativas en comunidades vegetales con un importante grado de degradación del recurso forestal y del suelo en el Chaco Árido (NO. de Córdoba, Argentina). Se evaluó comparativamente el establecimiento de *P. chilensis* y *A. quebracho-blanco* y el efecto del arbusto más notable (*Larrea divaricata*) en la región degradada. En marzo de 1994 se plantaron las especies arbóreas bajo la cobertura de *L. divaricata* y fuera de ella, y se monitoreó el ensayo durante un año y medio. La supervivencia y el vigor de crecimiento de los individuos juveniles de estas especies fueron las variables respuesta analizadas mediante modelos lineales generalizados. Específicamente, para el vigor se adoptó un modelo ordinal de dependencia. Las principales diferencias, tanto en la respuesta de la supervivencia como del vigor, ocurrieron al nivel de la especie forestal nativa plantada. La supervivencia y el vigor del algarrobo fueron superiores a los del quebracho blanco. La mortalidad para ambas especies es importante en los primeros meses después de la plantación. Las supervivencias de *P. chilensis* y *A. quebracho-blanco* declinaron en forma exponencial con el tiempo de observación. La supervivencia y el vigor del algarrobo son algo mayores fuera de la cobertura del arbusto, evidenciando una relación competitiva. En cambio, el quebracho blanco muestra mayor supervivencia bajo la especie arbustiva, evidenciando una relación mutualista de facilitación. La instalación de árboles pioneros como el algarrobo es mejor que la del quebracho blanco en sitios degradados y con alto estrés hídrico.

**Palabras clave:** forestación, zonas áridas, especies nativas, cobertura arbustiva.

## ABSTRACT

The afforestation with native tree species was studied in small vegetated communities in the NW of the Province of Córdoba, Argentina. These are located in the Arid Chaco, and show clear signs of tree and soil degradation. The nursing effect of the most conspicuous shrub in the area (*Larrea divaricata*) was assessed in relation to the settlement of the two most important trees in the region (*P. chilensis* and *A. quebracho-blanco*). In March 1994, the two tree species were planted, both under the canopy of the shrubs and in the open field. The trial was monitored for 18 months. The survival and the growth vigour of the juveniles of these species were analysed using generalised lineal models. Specifically, for the vigour response an ordinal model was adopted. The mortality for both species is important in the first months after plantation. The survival of *P. chilensis* and *A. quebracho-blanco* declined exponentially with time of observation. The main differences in both survival and vigour responses occurred at the species level. For both treatments, *A. quebracho-blanco* showed lower survival and vigour than *P. chilensis*. In turn *P. chilensis* showed higher growth rate in relation to *A. quebracho-blanco*. Survival and vigour of algarrobo are somewhat higher outside the canopy of the shrub, exhibiting a competitive relationship. The survival rate of *A. quebracho-blanco* was higher for those seedlings growing under shrub canopy, showing a mutual relationship of facilitation. The establishment of pioneer trees such as algarrobo, is better than that of quebracho blanco in degraded places and with high hydric stress.

**Key words:** native forest plantations, management in arid zones, seedling resettlement, effect of shrub.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Valparaíso s/n, Ciudad Universitaria, C.C. 509, 5000 Córdoba, Argentina. E-mail: abarchuk@agro.uncor.edu.ar

## 1. INTRODUCCIÓN

Se han usado técnicas variadas de rehabilitación y recuperación del bosque nativo como la de recreación de parches de vegetación (Ludwig y Tongway, 1996), captación de agua (Kaarakka, 1996), incremento de especies gramíneas para retardar la erosión (Dhir, 1994), incorporación de árboles fijadores de nitrógeno para aumentar el volumen de nutrientes y árboles adaptados a la sequía (Singh et al., 1996), entre otras. La plantación de árboles y arbustos adaptados a la sequía es, en la actualidad, una de las herramientas más eficaces disponibles (Le Houerou, 1996).

Existe escasa investigación acerca de plantaciones con especies nativas y las plantaciones forestales con especies exóticas constituyen la alternativa productiva más frecuente, donde las consecuencias ecológicas tampoco están siendo evaluadas (Schlichter y Laclau, 1998). Las plantaciones con especies exóticas no disminuyen la presión sobre los bosques nativos y su protección tampoco está garantizada por políticas conservacionistas. La mayoría de las tierras del Chaco se encuentran degradadas con relación al recurso forestal, donde domina un estrato arbustivo denso. La recuperación del bosque implica desarrollar técnicas que consideren la presencia de dicho estrato. Un concepto importante que puede fundamentar estas técnicas es que el paisaje en ambientes áridos y semiáridos se estructura en mosaicos espacialmente discretos delimitados por plantas perennes, donde conviven especies vegetales y animales (Valiente-Banuet et al., 1991). Así, gran cantidad de estudios indican que muchas especies vegetales requieren de la presencia previa de otras para que el establecimiento sea exitoso (Hunter y Aarssen, 1988; Suzán et al., 1996).

La presencia de especies arbóreas nativas de valor comercial en el Chaco crea sistemas silvopastoriles que ofrecen producción potencialmente sustentable (Simón e Ibrahim, 1997). Diversas porciones del Chaco árido han sufrido degradación severa durante el último medio siglo. Las tierras áridas degradadas del Chaco árido son difíciles de restaurar o rehabilitar debido a la agresividad inherente de su clima. Estos sitios son propensos a la erosión y retardan el reclutamiento forestal.

Dos especies nativas importantes de la región son *Aspidosperma quebracho-blanco* (tolerante a la sequía) y *Prosopis* spp (evitadoras de la sequía). En condiciones naturales la mayor regeneración de *A. quebracho-blanco* está asociada al interior del bosque, mientras que *Prosopis* spp. lo hace principalmente al borde del mismo (Casenave et al., 1995). Esto último sugiere un comportamiento diferencial con relación a las condiciones para el establecimiento de las especies citadas.

Existen exiguas experiencias en la región del Chaco árido sobre recuperación del estrato arbóreo (Barchuk et al., 1998a). A través de experimentos en plantación se pretende conocer la proporción de individuos juveniles de especies nativas que sobreviven en una región del Chaco árido degradado y la influencia del componente arbustivo. Se postula que el arbusto facilita la supervivencia y el vigor de crecimiento de los árboles nativos y que esta respuesta depende de las características de forma de vida de las especies plantadas. De tal forma, se estudia el efecto de *Larrea divaricata* (DC) Cav., sobre el vigor y la supervivencia de plantaciones de *Prosopis chilensis* y *A. quebracho-blanco* en el Chaco árido.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

Los ensayos de plantación se realizaron en sistemas productivos de la comunidad rural de Santa Rosa (Pedanía Chancaní, Departamento Pocho, Provincia de Córdoba). La zona corresponde a campos de pequeños productores donde el recurso forestal y el suelo se encuentran muy degradados. Está limitada al Este por las Sierras de Pocho. Su relieve es llano, y está ubicada en la parte distal de un cono aluvial y atravesada por un antiguo cauce del río Chancaní, río de aguas intermitentes y seco la mayor parte del año.

La precipitación fue de 200 mm en 1994 y menos de 170 mm en 1995. Los suelos son del tipo Cambortid ustólico, excesivamente drenados, profundos; familia franca gruesa; no salinos; no sódicos; moderadamente provistos de materia orgánica; ligeramente inclinados; con susceptibilidad a erosión hídrica y susceptibilidad a erosión eólica mínima (Jarsun et al., 1989).

### 2.2. Características de las especies utilizadas en el ensayo

*Prosopis chilensis*, Mimosaceae (Fabaceae), es una especie caducifolia con metabolismo fotosintético C3 que ocurre naturalmente en zonas áridas (Chile Central, sur del Perú y oeste de Argentina) (Burkhart y Simpson, 1977). Es un árbol de 5 a 8 m de altura, de ramaje flexible, espinoso, algo colgante, y copa frondosa. Se multiplica por semillas exclusivamente. Se disemina principalmente por vía endozooica. La germinación se refuerza cuando la semilla es escarificada por el pasaje a través del tracto digestivo de los animales (Archer, 1989). La especie puede formar bancos de semillas sobre todo cuando la semilla queda dentro de la vaina (Tshirley y Martin, 1960). En zonas más áridas, el forrajeo por animales silvestres es tan intenso que impide la formación de dicho banco (Villagra et al., 1998). El ramoneo de los individuos juveniles sería también el principal factor limitante del establecimiento de las plántulas (Barchuk et al., 1998a). Inventarios en campos sometidos a pastoreo continuo de animales domésticos indicaron que la regeneración natural es muy escasa (Barchuk et al., 1998b).

*A. quebracho-blanco* (Apocynaceae) es una especie perennifolia, esclerófila y con metabolismo fotosintético C3. Sus semillas son dispersadas por el viento y sus frutos son cápsulas dehiscentes. Las semillas permanecen viables en el suelo durante poco tiempo y se degradan fácilmente. Forman bancos de individuos juveniles (Barchuk y Díaz, 1999; Lewis et al., 1999). La especie habita en un amplio rango de condiciones ambientales (350 a 1200 mm de precipitación). Una de las vías menos común de propagación es la asexual a través de raíces gemíferas (Hunziker, 1946).

*Larrea divaricata* (Zygophyllaceae) es una planta perennifolia, xerófila. Es tolerante a la sequía, tiene pequeñas hojas coriáceas y un sistema radical extenso. Las hojas están cubiertas por una capa resinosa que reduce la pérdida de agua. La jarilla es dominante en comunidades arbustivas degradadas del Chaco árido.

### 2.3. Diseño del experimento

Se seleccionaron tres parcelas de 1,5 ha cada una en tres unidades productivas. La comunidad vegetal de cada sitio contenía entre un 50 y un 90 % de cobertura de *L. divaricata*, entre 3 y 23 % de estrato arbóreo representado por *Prosopis flexuosa* D.C. y *A. quebracho-blanco*. Acompañando a *L. divaricata* se encontraron otros arbustos espinosos que presentaron en

conjunto valores de cobertura entre 5 y 19 % (*Celtis pallida* Torrey, *Mimoziganthus carinatus* (Gris.) Burk., *Acacia furcatispina* Burk., *Cercidium australe* Johnst.). El estrato herbáceo era pobre y estaba compuesto principalmente por gramíneas de los géneros *Trichloris*, *Setaria*, *Pappophorum* y *Chloris*.

La estructura de tratamientos considerada en este trabajo consistió en un experimento bifactorial, siendo los factores *arbusto*, con dos niveles, bajo y fuera, y *especie*, con dos niveles, quebracho y algarrobo. Los tratamientos fueron instalados en parcelas con acceso limitado de animales domésticos, logrado mediante alambrado de 5 hilos y bordura de ramas. Se plantaron las especies arbóreas *P. chilensis* y *A. quebracho-blanco*, de 3 a 4 meses de edad, a una densidad mínima de 500 plantas por hectárea. El trasplante se realizó según las fechas recomendadas por Catalán et al. (1994). Se protegió cada plántula con ramas espinosas de las especies arbustivas próximas. La plantación se realizó localizando las plantas de algarrobo y quebracho en forma aleatoria en transectas dispuestas regularmente, para facilitar la localización posterior de las plantas. Para el tratamiento de cobertura de *L. divaricata* y fuera de ella, se asignó también aleatoriamente la localización espacial de cada planta de algarrobo y quebracho. Por lo tanto, los efectos de los factores especie y arbusto fueron evaluados siguiendo un diseño experimental completamente aleatorizado, siendo  $n = 200$  la cantidad de repeticiones para cada combinación de tratamientos. Como se describe en la sección siguiente, el esfuerzo en la gran cantidad de repeticiones para este ensayo responde al tipo de variable respuesta a analizar.

Conjuntamente con los datos de supervivencia ya publicados (Barchuk y Díaz, 1998) se registró el vigor de crecimiento. Esta variable fue observada a partir del segundo mes de monitoreo del experimento. El vigor es una estimación visual que puede considerarse como resumen sintético de crecimiento. Esta variable inicialmente no se observó en el ensayo dado que se esperaba que se redujera la supervivencia al momento de la plantación por un supuesto daño físico a las raíces finas durante el transplante.

Las evaluaciones de supervivencia y vigor se realizaron a lo largo del primer año y medio de la plantación. A cada planta se la caracterizó según las siguientes categorías de vigor que representaban una estimación visual de la salud o apariencia de las plántulas:

- La categoría **0** representó aquella planta que murió por estrés hídrico (mayoría de tallos y hojas intactas pero secos) o por defoliación (tallo cortado o ausente).
- Las categorías **1**, Malo, **2**, Satisfactorio, **3**, Bueno y **4**, Muy bueno, se construyeron considerando altura de planta, número de entrenudos, número de brotes, número de ramas y diámetro a la base, presencia de ápice seco o tallo seco. Estas observaciones o estimaciones visuales fueron simples y prontamente identificables en la parte aérea. Ejemplos de algunas de las variables cuantitativas, con sus rangos de variación, se presentan en la Tabla 1.

Las fechas de observación fueron: 31/5/94, 6/9/94, 26/12/94 y 2/6/95. No se pudieron realizar más observaciones dado que ocurrió un incendio regional en diciembre de 1994 lo que obligó a los productores a hacer uso de las parcelas para consumo de animales domésticos a partir del segundo semestre de 1995.

Para cada fecha de observación, el diseño experimental establecido para este ensayo tuvo como criterio garantizar que las cinco categorías de la variable respuesta ordinal y vigor de las plantas, tuvieran, en principio, suficiente frecuencia no nula para su posterior tratamiento analítico.

**Tabla 1.** Valores máximos y mínimos de algunas de las variables morfológicas observadas que contribuyeron a la construcción de cada categoría de vigor.

			<b>F2 (6/9/94)</b> Mín - Máx	<b>F3 (26/12/94)</b> Mín - Máx	<b>F4 (2/6/95)</b> Mín - Máx
<b>algarrobo</b>	<b>bajo</b>	Nº de nudos	1 - 27	10 - 40	20 - 57
		Tamaño brote (cm)	0.1 - 8	5.1 - 12.3	9.1 - 20.5
	<b>fuera</b>	Nº de nudos	1 - 27	10 - 48	22 - 65
		Tamaño brote (cm)	0.1 - 8.0	5.0 - 15.5	10.0 - 25.5
<b>quebracho</b>	<b>bajo</b>	Altura (cm)	2.3 - 19.5	1.42 - 23.7	1.5 - 24.9
		Diámetro (mm)	1.0 - 2.8	1.1 - 3.9	1.08 - 7.9
	<b>fuera</b>	Altura (cm)	2.0 - 19.3	1.8 - 20.5	1.3 - 24.5
		Diámetro (mm)	1.1 - 2.5	1.0 - 5.6	1.04 - 7.5

## 2.4. Tratamiento de los datos

### *Supervivencia*

Se retomaron las evaluaciones de supervivencia de las dos especies nativas ya descritas en Barchuk et al.(1998a) y se construyeron curvas de supervivencia horizontal. Dado que en el trabajo citado se estudió la significación estadística de los tratamientos, se construyeron modelos estadísticos para los comportamientos encontrados.

### *Vigor*

La variable ordenada en escala categórica ordinal fue el vigor de los individuos juveniles, con categorías de 0 a 4. Para el tratamiento de esta variable aleatoria y en función del diseño de tratamientos ensayados, fue utilizado un modelo estadístico que distingue y aprovecha esta escala de medida, el modelo ordinal o, como comúnmente se lo denomina, el modelo con categorías ordenadas. Se propuso realizar el ajuste del modelo lineal generalizado denominado *logit acumulativo* (McCullagh, 1980). Para dicho modelo, la variable de respuesta para el modelo adoptado fue el conteo observado en las celdas del cuadro de contingencia generada por el cruce de las variables de clasificación (especie y tratamiento con arbusto) y el vigor (respuesta observada a campo).

Para verificar la influencia de algunas variables en la clasificación de los individuos de acuerdo a una variable categórica, con k categorías, con ordenación natural en las respuestas, se utilizaron modelos basados en probabilidades acumuladas  $\gamma_j = P(\gamma \leq j)$ ,  $j = 1, \dots, k-1$ . Este enfoque considera que, debido a la ordenación natural de las respuestas, no hay razón para tratar a las categorías extremas de la misma forma que las intermedias (en este caso, vigor 0 y 4), como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Esquema del modelo de probabilidades acumuladas.

Categorías Vigor de la planta	Probabilidad Individual	Probabilidad Acumulada
1	$\pi_1$	$\gamma_1 = \pi_1$
2	$\pi_2$	$\gamma_2 = \pi_1 + \pi_2$
3	$\pi_3$	$\gamma_3 = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3$
4	$\pi_4$	$\gamma_4 = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4$
5	$\pi_5$	$\gamma_5 = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5$

En el contexto de los modelos lineales generalizados (McCullagh & Nelder, 1989), y para cada fecha, el modelo *logit acumulativo* para la situación experimental estudiada tuvo como predictor lineal:

$$\eta_{ijk} = \text{logit}(\gamma_{ijk}) = \theta_j - X_{ik}\beta = \theta_j - \beta_i - \alpha_k - \delta_{ik}, \quad [1]$$

donde  $\beta_i$  indexa la especie (*A. quebracho-blanco* o *P. chilensis*), con  $i=1,2$ ;  $\alpha_k$  indexa los niveles del factor (bajo y fuera de la cobertura del arbusto), con  $k=1,2$  y  $\delta_{ik}$  representa la interacción entre los niveles  $i,k$  de ambos factores, respectivamente. Los parámetros  $\theta_j$ , con  $j=1,\dots,4$ , fueron pensados como puntos de corte (*cut-points*) sobre una escala implícita continua, marcando los límites entre las categorías de la respuesta (vigor). Así, puede considerarse que este modelo contiene una variable latente continua, denotada por  $Z$ , subyacente para la respuesta ordinal observada (McCullagh & Nelder, 1989).

Para cada momento de observación, la variable de respuesta para el modelo adoptado fue el conteo observado en las celdas del cuadro de contingencia generado por el cruce de las variables de clasificación (especie y arbusto) y el vigor (respuesta observada a campo).

Las estimaciones de los parámetros involucrados en el predictor lineal fueron interpretadas en función de dos ejes: significación de los efectos principales e interacción para la construcción de un ranking y medida de la fuerza de la asociación entre las covariables con el vigor utilizando para ello los *odds ratios* estimados. Esta medida de asociación, siempre no negativa, se define en la población, como el cociente de los *odds*:

$$\phi = \frac{\gamma_{i,j} \gamma_{i+1,j+1}}{\gamma_{i,j+1} \gamma_{i+1,j}},$$

donde las  $\gamma_{i,j}$  son las probabilidades en cada celda del cuadro de contingencia, considerando el modelo ordinal. Si los *odds ratios* tienen valor igual a 1, las variables involucradas en el cuadro de contingencia son independientes (Agresti, 1984). Las inferencias acerca de las estimaciones de los efectos contenidos en el modelo se realizaron construyendo estadísticos de Wald (McCullagh & Nelder, 1989); es decir, estadísticos del tipo:

$$W = \frac{\beta_{ijk}}{S_{\beta}},$$

donde  $\beta$  representa el vector de parámetros (tratamientos) y  $S_{\beta}$  el error estándar de la estimación.

Los modelos con funciones de enlace logísticas acumulativas usados en este trabajo fueron estimados usando las macros construidas por Wolfe (1996). Dichas rutinas fueron incorporadas por el autor al programa GLIM (*Generalized Linear Interactive Models*), versión 4 (Francis et al., 1994). El ajuste de modelos lineales generalizados se realiza en GLIM a través del método de máxima verosimilitud, estableciendo como reparametrización que uno de los niveles de tratamientos sea nulo. Así para cada fecha, se llevó a cabo el ajuste del modelo ordinal considerando como referencia al efecto de tratamiento *quebracho fuera del arbusto* (nivel 4 para la interacción) como de referencia (*baseline*).

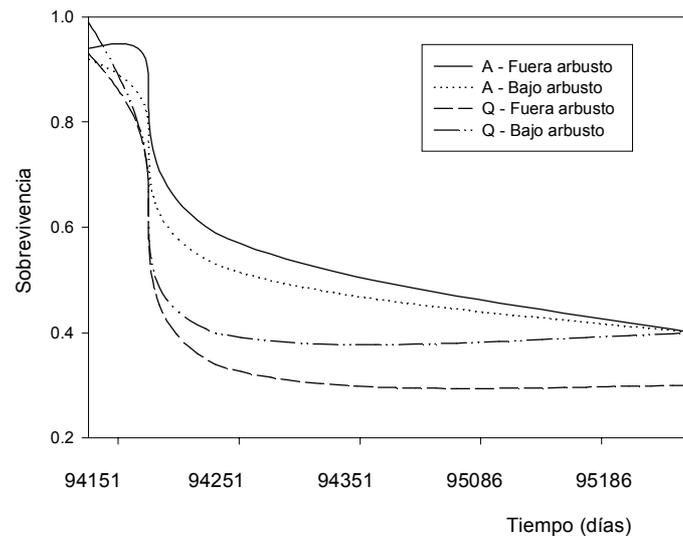
Los efectos de los tratamientos fueron interpretados según lo sugiere McCullagh & Nelder (1989): valores positivos de las estimaciones representan una tendencia hacia las categorías de orden superior, relativo a la elegida como referencia, en nuestro caso, las probabilidades para el nivel 4 de interacción (*quebracho fuera del arbusto*); valores negativos indican efectos inversos, implicando que el valor cero también tiene significado en ese ordenamiento.

Para la evaluación del desempeño del modelo en cada una de las fechas de observación se utilizaron las técnicas usuales de diagnóstico (Collett, 1991; McCullagh & Nelder, 1989), que se basan en análisis descriptivos de los residuos de *deviance* estudentizados  $r^2_D = h_1 r^2_p + (1-h)r^2_D$ , en la inspección del valor del estadístico *deviance* residual que mide la discrepancia del modelo con el conjunto de datos (el valor observado de este estadístico debe ser semejante a los grados de libertad correspondientes para esa fuente de variación) y en el análisis del modelo propuesto adicionando una covariable extra ( $\eta^2$ ) para evaluar la función de enlace. Cabe señalar que, debido a que las celdas extremas de los cuadros de contingencia construidas para cada fecha presentaron valores bajos de frecuencias, la aproximación *chi-cuadrado* para ese estadístico *deviance* constituye un criterio razonable para la evaluación del modelo (McCullagh & Nelder, 1989).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Supervivencia

La supervivencia de *P. chilensis* y *A. quebracho-blanco* declinó en forma exponencial con el tiempo de observación (Figura 1). Las curvas de supervivencias muestran que la mortalidad se concentra al comienzo de la vida de las plantaciones de quebracho y algarrobo y que luego la supervivencia tiende a estabilizarse. Los parámetros de los modelos estadísticos estimados se presentan en la Tabla 3.



**Figura 1.** Supervivencia (escala 0 – 1, equivalente 0 – 100 %) de *P. chilensis* (A) y *A. quebracho-blanco* (Q), bajo cobertura y fuera de cobertura de *L. divaricata*. Las observaciones se realizaron durante los años 1994 y 1995.

**Tabla 3.** Valores medios de supervivencia (%). Parámetros de los modelos estadísticos estimados para la supervivencia ( $f=a*\exp(b/(x+c))$ ).

Especie	Tratamiento	Fecha 1 94151	Fecha 2 94249	Fecha 3 94360	Fecha 4 95153	Parámetros ( a, b y c)
Algarrobo	Fuera cobertura	94	90	59	40	0.0007; 21048,6; 2920.47
	Bajo cobertura	92	80	53	40	0.0037; 11483,3; 2068,004
Quebracho	Fuera cobertura	93	70	30	30	0.0056; 5875.56; 1144.24
	Bajo cobertura	99	70	40	40	0.1349; 724.77; 363.65

La supervivencia fue analizada en Barchuk et al. (1998a). En la primera fecha de observación la supervivencia fue elevada para ambas especies. A partir de la segunda fecha, la misma difiere según el tratamiento, el efecto arbusto y la especie estudiada. La supervivencia del algarrobo fue superior a la del quebracho. La supervivencia de *P. chilensis* disminuye más bajo *L. divaricata* que fuera del arbusto. *A. quebracho-blanco* tuvo mayor supervivencia bajo el arbusto comparado con fuera del mismo.

### 3.2. Vigor

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos de los ajustes de los modelos ordinales propuestos para la variable categórica vigor de plántulas de las dos especies arbóreas estudiadas, *P. chilensis* y *A. quebracho-blanco*, en dos situaciones experimentales. Los resultados muestran: desempeño del modelo, estimación de parámetros y medidas de asociación para la obtención del ordenamiento de los tratamientos.

El buen desempeño de los modelos ajustados se pone de manifiesto mediante los estadísticos *deviance* residuales, los que una vez ajustado el modelo [1], exhibieron valores de  $p$  mayores que 0.25; esto es, 0.5970, 0.6288 y 0.2785, respectivamente, para las fechas observadas. El análisis de los residuos de *deviance* estudentizados mostró intervalos de confianza, con nivel del 95%, entre -2.131 y 1.743, siendo los valores de mediana y media iguales a 0.0310 y -0.0615, respectivamente, para la fecha 2; 0.001 y -0.0023, respectivamente, para la fecha 3 y -0.0022 y 0.0143 para la fecha 4. El ajuste de los tres modelos (uno para cada fecha) incrementando la covariable extra  $\eta^2$  estimada, mostró cambios de *deviance* no significativos. Estos resultados, análisis de *deviance* residual, estadísticos resúmenes para los residuos, y chequeo de la función de enlace, ofrecen indicios para la aceptación de los modelos propuestos.

Los valores estimados de los parámetros que representaron los puntos de corte  $\theta_j$  fueron significativos en todas las fechas evaluadas, indicando la razonabilidad de la escala ordinal de observación del vigor de las plántulas de estas especies, definida como categorías dependientes.

La Tabla 4 muestra que las estimaciones de los parámetros contenidos en el predictor lineal son significativas en relación con la establecida como referencia (*baseline*). Es decir, los valores observados de los estadísticos de Wald para los dos tratamientos de arbusto en *P. chilensis* fueron 4.2414 y 2.3125, diferentes entre sí ( $p=0.1033$ ) en la fecha 2, respectivamente; 3.4675 y 3.6969 en la fecha 3; y 2.9565 y 2.5143 en la fecha 4, respectivamente, mostrando que en estos dos últimos momentos de observación no existió interacción entre los factores estudiados.

En la segunda fecha, *P. chilensis*, además de presentar diferencias significativas entre los dos tratamientos, obtuvo las mayores estimaciones. Recordando que bajo el modelo ordinal propuesto, los valores positivos de las estimaciones representan una tendencia hacia las categorías de orden superior (categorías superiores de vigor), relativo a la elegida como de referencia. Podría inferirse que, para este momento de observación, el algarrobo sin la protección del arbusto tiene mejor desempeño. Esto podría observarse también en la distribución del vigor para esta combinación de niveles, la cual es netamente asimétrica a la izquierda, encontrando valores de frecuencia más altos en las categorías 3 y 4. Por el contrario, el quebracho blanco, la especie con estimaciones menores, no mostró diferencias entre sus tratamientos.

Este comportamiento de quebracho blanco fue semejante en todas las fechas. Para el algarrobo, las diferencias entre tratamientos se tornan no significativas en las dos fechas siguientes indicando que las distribuciones del vigor de las plántulas fuera de la cobertura del arbusto y debajo de él, son semejantes y completamente asimétricas hacia la izquierda (Tablas 4 y 5).

Como puede observarse, las estimaciones obtenidas para los tratamientos del quebracho fueron inferiores ( $p<0.05$ ) a las del algarrobo, en todas las fechas, e iguales en las dos situaciones experimentales (bajo y fuera del arbusto). Esto indica que, bajo condiciones ambientales como las procuradas en estas parcelas a campo, el quebracho no manifiesta un desempeño diferenciado conforme sea la influencia del arbusto, ni siquiera en sus primeros estados de crecimiento.

En términos de medidas de asociación, la Tabla 5 muestra que, en la fecha 2, *Prosopis* fuera de la cobertura del arbusto tiene un valor de *odds ratio* igual a 3,42 con respecto a la combinación de referencia (quebracho sin la influencia del arbusto). Esto implica que, para cualquier categoría  $j$  de vigor, esta especie tiene una probabilidad aproximadamente 3,5 veces mayor de poseer mejor vigor, en comparación con la situación testigo. Para la restante combinación, esto es, bajo la cobertura del arbusto, esta medida proveyó 2,1 veces más chances que para la especie quebracho blanco. Las medidas de asociación estimadas, según lo utiliza Wolfe (1996), proveen indicios para el establecimiento de un determinado ordenamiento entre los tratamientos. La Tabla 5 muestra ese ordenamiento para las tres fechas de observación. Para la primera, el ordenamiento fue: primero para el algarrobo fuera de la cobertura del arbusto, segundo para el algarrobo bajo la cobertura del arbusto y tercero para el quebracho en sus dos

combinaciones, la usada como referencia y bajo cobertura. A partir de esa fecha, dicha escala sólo tuvo dos niveles, diferenciando simplemente la especie arbórea.

**Tabla 4.** Valores de *deviance* residual para la evaluación del modelo ordinal y estimaciones de los parámetros contenidos en el predictor lineal del modelo lineal generalizado adoptado para cada fecha de observación.

FECHA 2		FECHA 3		FECHA 4	
<i>Desempeño del modelo</i>					
ESTADÍSTICO DE AJUSTE	Valor	ESTADÍSTICO DE AJUSTE	Valor	ESTADÍSTICO DE AJUSTE	Valor
Deviancece Residual	9.338	Deviance Residual	7.08	Deviance Residual	10.95
GI <sup>(1)</sup> residual	9	GI <sup>(1)</sup> residual	9	GI <sup>(1)</sup> residual	9
<i>p-value</i>	0.5978	<i>p-value</i>	0.6288	<i>p-value</i>	0.2785

*Estimación de parámetros*

PARÁMETRO	Estimación (d.e.) <sup>(2)</sup>	PARÁMETRO	Estimación (d.e.) <sup>(2)</sup>	PARÁMETRO	Estimación (d.e.) <sup>(2)</sup>
$\theta_1$ (punto de corte I)	-0.56 (0.22)	$\theta_1$ (punto de corte I)	0.59 (0.26)	$\theta_1$ (punto de corte I)	0.84 (0.28)
$\theta_2$ (punto de corte II)	-0.72 (0.18)	$\theta_2$ (punto de corte II)	-1.81 (0.29)	$\theta_2$ (punto de corte II)	-0.27 (0.13)
$\theta_3$ (punto de corte III)	-0.46 (0.14)	$\theta_3$ (punto de corte III)	-0.77 (0.17)	$\theta_3$ (punto de corte III)	0.06 (0.04)
$\theta_4$ (punto de corte IV)	0.59 (0.09)	$\theta_4$ (punto de corte IV)	0.23 (0.11)	$\theta_4$ (punto de corte IV)	0.31 (0.11)
Prosopis Fuera	1.23 (0.29)	Prosopis Fuera	1.11 (0.32)	Prosopis Fuera	0.68 (0.23)
Prosopis Bajo	0.74 (0.32)	Prosopis Bajo	1.22 (0.33)	Prosopis Bajo	0.88 (0.35)
Aspidosperma Bajo	-0.010 (0.32)	Aspidosperma Bajo	0.09 (0.39)	Aspidosperma Bajo	0.38 (0.40)
Aspidosperma Fuera	Referencia	Aspidosperma Fuera	Referencia	Aspidosperma Fuera	Referencia

<sup>(1)</sup> GI = grados de libertad; <sup>(2)</sup> d.e.=desvío estándar

**Tabla 5.** Medidas de asociación y ordenamiento para los tratamientos.

FECHA 2		FECHA 3		FECHA 4	
<i>Odds ratio</i> (*)	Estimación	<i>Odds ratio</i> (*)	Estimación	<i>Odds ratio</i> (*)	Estimación
I - Prosopis Fuera	3.42	I - Prosopis	3.20	I - Prosopis	2.18
II - Prosopis Bajo	2.10	II - Aspidosperma	1.00	III - Aspidosperma	1.00
III - Aspidosperma	1.00				

#### 4. DISCUSIÓN

Las principales diferencias, tanto en la respuesta de supervivencia como de vigor, ocurrieron al nivel de la especie forestal nativa plantada, lo que reflejó claramente las estrategias diferentes de crecimiento que poseen el algarrobo y el quebracho blanco. Los resultados indican que el establecimiento de árboles pioneros como el algarrobo es mayor que el del quebracho blanco, en sitios degradados y con alto estrés hídrico.

Los patrones de supervivencia fueron similares para las especies y los tratamientos bajo y fuera de la cobertura de *L. divaricata*. La respuesta temporal de la supervivencia puede ser expresada como una función exponencial negativa, donde la mortalidad es alta al principio y luego la cantidad de sobrevivientes tiende a estabilizarse. Esto podría interpretarse como respuesta a las desfavorables condiciones climáticas. La sequía producida durante el desarrollo del ensayo generó condiciones de estrés hídrico muy importantes, agravadas a su vez por las condiciones de degradación del sitio. No obstante, el hecho de que la supervivencia tiende a estabilizarse entre el 30 y 40 % es un indicio muy importante de la capacidad de adaptación que tienen las especies plantadas.

Se conoce que *Prosopis* spp, en general, tiene niveles de producción de biomasa (parte aérea) y productividad superiores que las predecibles para especies de desierto con muy bajos niveles de precipitación (Mooney, 1977), y la mayor tasa de crecimiento que presenta esta especie es el resultado de la fijación simbiótica activa (Shearer et al., 1983). Su establecimiento depende, en gran medida, de las condiciones climáticas inmediatas posteriores a la germinación. Los pulsos de máximo establecimiento del algarrobo parecen ser discontinuos y están relacionados con períodos de sequía o sobrepastoreo; es decir, cuando el vigor y la cobertura vegetal de las especies que compiten están reducidos (Archer, 1995; Weltzin et al., 1997).

El quebracho blanco tiene una velocidad de crecimiento muy baja comparada con las plántulas de algarrobo. El hecho de ser una perennifolia, lo hace más vulnerable a las condiciones de sequía del Chaco. Su lento crecimiento y su permanencia en estado juvenil por más de una década (banco de individuos juveniles) (Barchuk y Díaz, 1999; Lewis et al., 1999), implica que está expuesto a condiciones ambientales desfavorables que lo limitan fuertemente. La supervivencia estaría principalmente garantizada en micrositios donde la radiación directa y la temperatura estén atenuadas. El arbusto podría producir este efecto mediante su sombra. En situaciones no perturbadas, existe un patrón no aleatorio en la distribución de los individuos juveniles del banco permanente, el cual está asociado con los principales arbustos.

En el caso de *P. chilensis*, la supervivencia y el vigor fueron mayores fuera del arbusto. Esto podría explicarse por un efecto competitivo del arbusto. Así se comprendería el hecho de que esta especie se encuentre con mayor frecuencia en el borde del bosque.

#### 5. CONCLUSIONES

La plantación de especies nativas es posible en zonas con arbustos. En condiciones de aridez, la instalación de *P. chilensis* es más exitosa que la de *A. quebracho-blanco*. La supervivencia y el vigor del algarrobo son mayores fuera de la cobertura de arbustos; sin embargo, tolera su presencia. Se evidencia una relación competitiva. En cambio, el quebracho blanco muestra mayor supervivencia bajo la especie arbustiva. Los individuos de quebracho que sobreviven bajo cobertura no alcanzan a diferenciarse de los de fuera de la cobertura del arbusto, debido al lento crecimiento que presenta la especie. Se evidencia una relación facultativa de facilitación.

La restauración del ecosistema del Chaco árido requiere intervenciones. Estos ecosistemas no volverían a su condición de pre-perturbación. Esto dependería de las características de las

especies nativas, de las poblaciones que subsisten en áreas vecinas, del grado de degradación de la vegetación y de las condiciones climáticas. Dado el lento crecimiento y la baja supervivencia del quebracho blanco, la especie tendría dificultades para su recuperación poblacional. En la restauración de sistemas empobrecidos, las especies pioneras juegan un papel importante. Para que ello ocurra, es necesario realizar resiembras artificiales y controlar el ganado caprino y bovino. Para favorecer las especies sucesionales tardías (quebracho blanco) se debe disminuir la pérdida de especies mutualistas: nodrizas, micorrizas y fijadoras de nitrógeno. Es necesario beneficiar a las especies del estrato arbustivo dado que bajo las mismas pueden crecer otras. Para que estos procesos naturales ocurran, es necesario rehabilitar sitios con especies más productivas, aunque exóticas, que alivien las porciones de bosques remanentes.

En pos de desarrollar métodos de restauración, se indagará más en dos caminos diferentes. En el caso del algarrobo, se evaluará la siembra de semillas (previamente escarificadas, como una medida de manejo razonable para acelerar la etapa de instalación en áreas despojadas de vegetación), combinada con preparaciones del sitio que mejoren las condiciones para la supervivencia. En el caso del quebracho blanco, se investigarán los factores que limitan su establecimiento y crecimiento y lo concerniente al papel del arbusto como planta nodriza.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en forma especial a los productores de Santa Rosa, en particular a Don Tomás, Don Machuca y a Don Antonio, por haber facilitado sus tierras y por su valiosa colaboración. También agradecemos a los ingenieros agrónomos Fernando Casanoves, Mario Barrientos y Eduardo Belelli por la colaboración prestada durante el proceso de observación del ensayo. El trabajo fue realizado dentro del proyecto Valorización del Recurso Forestal Algarrobo y subsidiado por BID-Conicet.

## REFERENCIAS

- Agresti, R. 1984. *Categorical Data Analysis*. John Wiley & Sons, London. 568 p.
- Archer, S. 1989. Have Southern Texas savannas been converted to woodlands in recent history? *The American Naturalist* 134: 545-561.
- Archer, S. 1995. Tree-grass dynamics in a *Prosopis*- thornscrub savanna parkland: reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience* 2:83-99.
- Barchuk, A. H., M. P. Díaz, F. Casanoves, M. G. Balzarini and U. O. Karlin. 1998a. Experimental study on survival rates in two arboreal species from the Argentinian dry Chaco. *Forest Ecology and Management* 103: 203-210.
- Barchuk, A., M. P. Díaz, C. Graf y R. Vairoletti. 1998b. Estructura de tamaños de poblaciones arbóreas del Chaco árido. IV Congreso Latinoamericano de Ecología. Arequipa. Perú.
- Barchuk, A. H. and M. P. Díaz. 1999. Regeneration and structure of *Aspidosperma quebracho-blanco* Schl. in the Arid Chaco (Córdoba, Argentina). *Forest Ecology and Management* 118: 31-36.
- Burkhardt, A. and B. B. Simpson. 1977. The genus *Prosopis* and annotated key to the species of the world. p 201-215 *In: Mesquite: Its Biology in Two Desert Ecosystems* (B.B. Simpson, Ed.), US/IBP Synthesis Series No. 4, Dowden, Hutchison and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.
- Cabido M, A. Acosta, M. L. Carranza and S. Diaz. 1992. The vegetation of the arid Chaco in the western Cordoba Province, Argentina. *Documents Phytosociologiques* 14: 447-456.
- Casenave, J. L.; J. P. Pelotto; J. Protomastro; J. L. De Casenave. 1995. Edge-interior differences in vegetation structure and composition in a Chaco semi-arid forest, Argentina. *Forest Ecology and Management* 72: 61-69.
- Catalán, L., C. Carranza, L. González, U. Karlin and M. Ledesma. 1994. Afforestation trials with *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz and *Prosopis flexuosa* D.C. in the Dry Chaco, Argentina. *Forest Ecology and Management* 70: 113-119.
- Collett, R. 1991. *Binary Data Analysis*. Chapman and Hall, London. 365p.

- Díaz, M. P. y C. Demétrio. 1998. *Introducción a los Modelos Lineales Generalizados: Su aplicación a las Ciencias Biológicas*. Screen Ed. 112p.
- Dhir, R. P. 1994. Strategy to combat desertification and wind erosion. *Indian Journal of Soil Conservation* 22: 125-133.
- Francis, B., Green y. Payne. 1994. The GLIM System. Release 4. Manual. Clarendon Press. Oxford. 821p.
- Hunter, A. F. and W. Aarssen. 1988. Plants helping plants. New evidence indicates that beneficence is important in vegetation. *Bioscience* 38: 34-40.
- Hunziker, A. T. 1946. Raíces gemíferas en algunas plantas leñosas argentinas. *Revista Argentina de Agronomía* 13: 57-54.
- Jarsun, B., J. Gorgas, E. Zamora y E. Lovera. 1989. Atlas de suelos de la República Argentina. Sector Provincia de Córdoba. Convenio INTA-PNUD.
- Kaarakka, V. 1996. Management of bushland vegetation using rainwater harvesting in eastern Kenya. *Acta Forestalia Fennica* 253, 93 p.
- Le Houerou, H. N. 1996. Drought-tolerant and water-efficient trees and shrubs for rehabilitation of tropical and subtropical arid lands of Africa and Asia. *Land Husbandry* 1: 43-64.
- Lewis J. P., I. M. Barberis, E. F. Pire y N. J. Carnevale. 1999. Estructura y funcionamiento de los bosques del Chaco húmedo santafesino. *Actas XIX Reunión Argentina de Ecología*. Tucumán Argentina. p. 13.
- Ludwig, J. A. and D. J. Tongway. 1996. Rehabilitation of semiarid landscapes in Australia. II. Restoring vegetation patches. *Restoration Ecology*. 1996, 4: 398-406.
- McCullagh, P. 1980. Regression models for ordinal data. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 42:109-142.
- McCullagh, P., J. A. Nelder. 1989. *Generalized Linear Models*. Chapman & Hall, London.
- Mooney, H. A.; B. B. Simpson and O. T. Solbrig. 1977. Phenology, morphology, physiology. *In*: B. B. Simpson, ed., *Mesquite. Its Biology in Two Desert Ecosystems*, US/IBP Synth. Series No. 4, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. p. 26-41.
- Shearer, G., D. H. Kohn, R. A. Virginia, B. A. Bryan, J. L. Skeeters, E. T. Nilsen, M. R. Sharifi and P. W. Rundel. 1983. Estimates of N<sub>2</sub>-fixation from variation in the natural abundance of N<sup>15</sup> in Sonoran Desert ecosystems. *Oecologia* 56: 365-373.
- Simon, M. P. y M. Ibrahim. 1997. Manejo del monte en la Cuña Boscosa Santafesina: aplicación de un tratamiento silvicultural en sistemas silvopastoriles en el Chaco Argentino. *Agroforesteria en las Americas* 4: 14-19.
- Schlichter, T. y P. Laclau. 1998. Ecotono estepa-bosque y plantaciones forestales en la Patagonia norte. *Ecología Austral* 8:285-296.
- Singh, J. P., V. S. Yadav y Y. P. Singh. 1996. Nitrogen release from leaves of leguminous and nonleguminous tree species in a sandy loam soil. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10: 257-264.
- Suzán H., G. P. Nabhan and D. T. Patten. 1996. The importance of *Olneya tesota* as a nurse plant in the Sonoran Desert. *Journal of vegetation Science* 7: 635-644.
- Tshirley, F. H. and S. C. Martín. 1960. Germination and longevity of velvet mesquite seed in soil. *J. Range Manage.* 13: 94-97.
- Valiente-Banuet, A., A. Bolongaro-Crevenna, O. Briones; E. Ecurra, M. Rosas, H. Núñez, G. Barnard and E. Vazquez. 1991. Spatial relationships between cacti nurse shrubs in a semi-arid environment in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2: 15-20.
- Villagra, P. E., L. Marone y M. A. Cony. 1998. Actas IV Congreso Latinoamericano de Ecología y II Congreso Peruano de Ecología. Instituto Regional de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Arequipa, Perú.
- Weltzin, J. F., S. Archer and R. K. Heitschmidt. 1997. Small-mammal regulation of vegetation structure in a temperate savanna. *Ecology* 78:751-763.
- Wolfe, R. 1996. General Purpose Macros to Fit Models to an Ordinal Response. *GLIM Newsletter* 26: 20-27.

