

## Morfometría de copa en *Prosopis alba* Griseb.

## Morphometry of crown in *Prosopis alba* Griseb.

Ana Belén Cisneros<sup>I</sup>, Juana Graciela Moglia<sup>II</sup>, Juan Agustín Álvarez<sup>III</sup>

### Resumen

Las relaciones morfométricas permiten describir y caracterizar las dimensiones de los árboles, rodales sin el conocimiento previo de la edad, tienen utilidad en el manejo silvicultural, monitoreos forestales y productividad, especialmente cuando se tiene como premisa hacer un uso sustentable de los bosques. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar índices morfométricos según su posición social (PS), correlacionarlos, y crear modelos de predicción de esos índices, ya que las dimensiones y arquitectura de la copa pueden variar en virtud PS. La recolección de datos se realizó en tres provincias de la Región Chaqueña, Argentina. En 100 individuos con DAP > 15 cm, se midieron: altura total (Ht), diámetro a la altura del pecho (DAP), longitud de copa (Hc), radios copa (Rc), a través de los cuales se calcularon: diámetro de copa (Dc), volumen de copa (Vc), grado de esbeltez (E), índice de amplitud (Ia), sección de copa (Gc), índice saliente (Is), porcentaje de copa (%C) y forma de copa (Fc). Las variables fueron sometidas al análisis de correlación de Pearson. Los resultados indican que existen correlaciones positivas entre %C, Ht, Hc, Dc y el DAP, mientras que E e Is mostraron correlaciones negativas con el DAP. Las relaciones morfométricas de *Prosopis alba* pueden estimarse con precisión mediante modelos de regresión. Los resultados apuntan que los rasgos morfométricos pueden ser descritos mediante un modelo único, con la utilización de variables de clasificación *dummy* que diferencian las posiciones sociológicas en individuos de *Prosopis alba*.

**Palabras clave:** Morfometría; Características de copa; Manejo forestal

### Abstract

The morphometric relations allow describing and characterizing the dimensions of trees, stands without prior knowledge of the age and have utility in silvicultural management, forest monitoring and productivity, especially when there is a premise of making a sustainable use of forests. The objectives of the present study were to determine the morphometric indices according to their social positions (PS), correlate them, and create predictive models of these indices, because the dimensions and architecture of the crown may vary according to the PS. The data collection was carried out in three provinces of the Chaqueña Region, Argentina. In 100 individuals with DBH > 15 cm were measured: total height (Ht), diameter at breast height (DAP), crown length (Hc), crown radius (Rc), through which it was calculated the crown diameter (Dc), crown volume (Vc), slenderness rate (E), range index (Ia), crown section (Gc), salience index (IS), crown percentage (%c) and crown formal (Fc). The variables were subjected to the Pearson correlation analysis. The results indicate that there are positive correlations between % C, Ht, Hc, Dc and DAP, while E and Is showed negative correlations with DAP. The morphometric relationships of *Prosopis alba* can be accurately estimated using regression models. The results indicate that morphometric features can be described using a unique model, with the use of *dummy* classification variables that differentiate the sociological positions in individuals of *Prosopis alba*.

**Keywords:** Morphometry; Crown characteristics; Forest management

## Introducción

<sup>I</sup> Ingeniera Forestal, Becario CONICET, Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales - Sede el Zanjón, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano(s) 1912, CP 4200 Santiago del Estero, Argentina. cisnerosba@gmail.com (ORCID: 0000-0003-2985-3288)

<sup>II</sup> Ingeniera Forestal, Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales - Sede el Zanjón, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano(s) 1912, CP 4200 Santiago del Estero, Argentina. vimog@unse.edu.ar (ORCID: 0000-0002-0810-6235)

<sup>III</sup> Licenciado en Gestión Ambiental, Dr. Investigador adjunto de CONICET, Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, IANIGLA, CCT Mendoza, CONICET, (CC 330, 5500) Mendoza, Argentina. jalvarez@mendoza-conicet.gov.ar (ORCID: 0000-0001-5958-052X)



El algarrobo blanco se distribuye en aproximadamente 23.000.000 ha de bosques nativos en el Parque Chaqueño (VERGA, 2005), y es una especie de uso múltiple por la utilidad de su madera, frutos, propiedades medicinales, entre otros servicios directos e indirectos que brindan a la sociedad (GIMÉNEZ et al., 1998; 2001; CISNEROS; MOGLIA, 2017).

Actualmente son numerosos los esfuerzos para domesticar y conservar la especie, tal es la importancia que se creó el Programa Nacional del algarrobo (RESOLUCION 244/2013) y mediante la Ley 25.080 (ARGENTINA, 1998) de Inversiones para Bosques Cultivados, se promueven plantaciones forestales, enriquecimiento o emprendimientos silvopastoriles con esta especie. Por ser el algarrobo de sumo interés en varios ámbitos, son necesarios estudios morfométricos con rasgos de copa que permitan su adecuado manejo tanto en plantación como en su área de distribución natural.

La copa de los árboles representa el potencial que tienen estos para crecer, desarrollarse, la capacidad de competir por los recursos; recolectar energía a través de ella y es el lugar donde se realizan diversos procesos fisiológicos, que dan lugar al desarrollo de los tejidos vivos, crecimiento (HASENAUER; MONSERUD, 1996; MCINTOSH; GRAY; GARMAN, 2012; SANQUETTA et al., 2014).

Diversos índices obtenidos entre las dimensiones de la copa y del tronco buscan describir la capacidad de crecimiento y producción de los árboles y del bosque (PADOIN; FINGER, 2010), tal es el caso de las llamadas relaciones morfométricas como: índice de amplitud, forma de la copa, grado de esbeltez, índice saliente, sección y volumen y porcentaje de copa (BURGER, 1939). Estas relaciones no son tan conocidas en el medio forestal como lo es el volumen. Por lo tanto, la descripción y caracterización adecuada del árbol a través de la morfometría, ofrece la posibilidad de describir árboles, rodales y plantaciones, tanto para la toma de decisiones sobre el manejo silvicultural como su contribución en el monitoreo forestal (COSTA; FINGER; CUNHA, 2013; HESS et al., 2016); sobre todo cuando se plantea la necesidad de realizar podas, aclareos, estimar volúmenes individuales o emplear la morfometría de copa como respuesta a experimentos de fertilización/intensidades de poda (AGUILAR, 2005; ÁLVAREZ et al., 2013; FIGUEIREDO et al., 2014).

La morfometría de un árbol a través de las variables de copa, brinda una idea de las relaciones inter-dimensionales tales como: el espacio vertical ocupado por cada individuo, su grado de competencia, estabilidad, vitalidad y productividad (DURLO; DENARDI, 1998; COSTA; FINGER; FLEIG, 2016; HESS et al., 2016). Los estudios que contemplan mediciones con parámetros de copa en algarrobo blanco son pocos, probablemente por el tiempo requerido para la medición (LUNA; HERNÁNDEZ, 2008).

Burger (1939) y Assmann (1970) fueron los pioneros en realizar estudios de formas, dimensiones y relaciones morfométricas de copa en árboles. En Brasil, estudios morfométricos fueron abordados por numerosos autores, en distintas especies, entre ellos Durlo y Denardi (1998), Durlo (2001) en *Cabralea canjerana*; Nutto et al. (2001) en *Pinus elliottii* Engelm.; Tonini y Arco Verde (2005) en especies de Amazonias; Orellana y Koehler (2008) en *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer; Román, Bressan y Durlo (2009) en *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud.; Padoin y Finger (2010) en *Pinus taeda* L.; Costa, Finger e Fleig (2016) y Hess et al. (2016) en *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Por otro lado, Aguilar (2005) en Costa Rica y Luna y Hernández (2008) en México también hicieron cálculos morfométricos.

En Argentina numerosos autores efectuaron valiosos aportes en el manejo de la especie (GIMÉNEZ et al., 1998; GIMÉNEZ et al., 2001; BENDER et al., 2015; CISNEROS; MOGLIA, 2017). Sin embargo, aún se tiene poco conocimiento de trabajos relacionados a la morfometría en algarrobo blanco, que tengan en cuenta rasgos de copa, lo que dificulta sobre modo el manejo de la especie para fines productivos y conservacionistas. Por eso, la generación de información morfométrica sobre la especie favorecerá su domesticación, uso y conservación. En este contexto las hipótesis del presente trabajo son: i) existe variación en índices morfométricos según la posición social que ocupan los árboles; ii) el ajuste de modelos de regresión empleando variables *dummy* puede ser utilizado para explicar esa variación.

Considerando la importancia social y económica del algarrobo blanco, además de la necesidad de generar información que favorezcan la especie y su uso, el presente trabajo tiene por objetivos: i) calcular los índices morfométricos y correlacionarlos, evaluar sus posibles variaciones según su posición social; ii) crear modelos de regresión con rasgos morfométricos en algarrobo blanco, con el fin de contribuir al manejo de la especie.

## Materiales y métodos

### Caracterización del sitio de estudio

El sitio de estudio pertenece a la zona Centro-Norte de Argentina, incluye a las provincias de Santiago del Estero, Chaco y Formosa, las cuales forman parte del área de distribución natural de la especie. En esta región del país, las precipitaciones disminuyen hacia el Oeste (PIARFON, 2005), de 1.200 mm en el este (GORLERI, 2005), a menos de 100 mm en el extremo oeste (KARLIN; BROSTEIN, 1968). La temperatura media anual de la región varía entre 18-25 °C (PIARFON, 2005). Las heladas ocurren de junio-agosto y hay más de 300 días libres de ellas. Los vientos predominantes soplan de norte a sur.

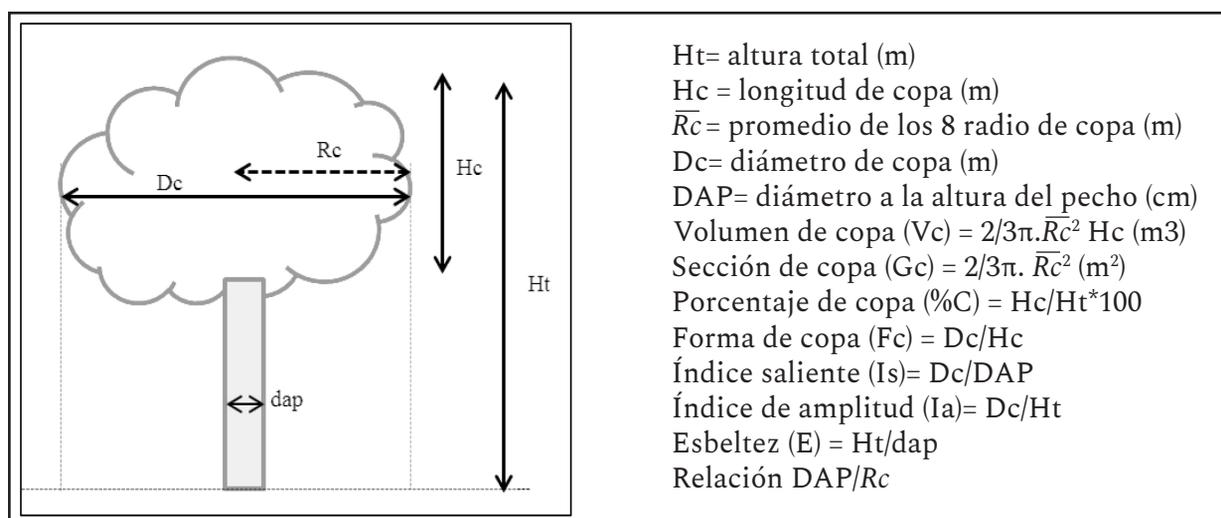
### Levantamiento de datos

Se muestrearon 100 árboles (con copa dominante, co-dominante y dominada), en un enfoque basado en el árbol individual con la amplitud de distribución de diámetro en la región, propuesto por Hess et al. (2016). En cada árbol se midió la altura total (Ht) y altura de fuste (Hf) con vara de altura, la circunferencia del fuste a 1,30 m con cinta métrica, para luego calcular el diámetro a la altura del pecho (DAP).

Se midieron ocho radios de copa (Rc) por árbol, mediante el método de ángulos fijos (45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 360°) (GIMÉNEZ et al., 2001), con cinta métrica y brújula, los radios se tomaron desde el centro del árbol al borde exterior del mismo, medidos en proyección vertical. Por lo tanto, el diámetro de copa (Dc) se fijó en dos veces el promedio de los ocho radios medidos (SANQUETTA et al., 2014); la longitud de copa (Hc), entendida como la altura desde la primera rama viva hasta el ápice también se midió con vara de altura (AGUILAR, 2005); la sección de copa (Gc) y el volumen de copa (Vc) fueron estimadas a partir de lo propuesto por Álvarez et al. (2013) en *Prosopis flexuosa*. En tanto, las relaciones morfométricas, se calcularon respetando lo planteado por Burger (1939) (Figura 1).

**Figura 1 - Diseño de árbol latifoliado y sus relaciones morfométricas**

Figure 1 - Broadleaf tree design and morphometric relationships



Fuente: Adaptado de Burger (1939)

Source: Adapted from Burger (1939)

## Tratamiento de datos

Los datos e índices morfométricos fueron sometidos a análisis de correlación de Pearson, para identificar los de mayor correlación y así contribuir a su interpretación.

Las relaciones simples en la especie, se estudiaron mediante análisis de regresión, donde el DAP fue tomado como variable independiente de las ecuaciones matemáticas, por ser un rasgo de fácil medición a campo. Sin embargo, para calcular la forma de copa e índice de amplitud, se tomó la longitud y diámetro de copa como variables independientes. Se probaron modelos de regresión: lineal, logarítmica, inversa, cuadrática, cubica, compuesta, potencial, curva de S, crecimiento y exponencial. Los modelos seleccionados fueron los que presentaron mayor coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ), un cuadrado medio del error pequeño (CMerror), mayor valor de F calculado y alta significancia de F (SANQUETTA et al., 2014). Se empleó un nivel de confianza de 95% y una probabilidad  $<0,05$  para la significancia estadística. En el análisis se empleó el paquete estadístico SPSS 13.0.

## Análisis de regresión con variables *dummy*

Las variables de clasificación *dummy*, son una herramienta útil ya que permite encontrar modelos únicos que estimen rasgos morfométricos en distintas posiciones sociológicas.

La influencia de la posición social en relaciones morfométricas sobre el nivel y la pendiente de la regresión fue evaluada mediante un análisis de regresión empleando estas variables auxiliares (*dummy*) (COSTA; FINGER; FLEIG, 2016). En las variables *dummy* (D1 - representó los árboles de la clase social dominante y D2 - los dominados). En el análisis se consideró la suma de los cuadrados de tipo III, que proporciona información más apropiada para el desequilibrio de datos (BALZARINI et al., 2008; COSTA; FINGER; FLEIG, 2016). En el análisis se empleó el paquete estadístico InfoStat versión 2018p.

## Resultados y discusiones

### Rasgos morfométricos

El diámetro, área y el volumen de copa reflejan la gran variación que tuvo el aparato fotosintético en las distintas posiciones sociales para esta especie, siendo la PS1 la de mayor desarrollo (Tabla 1). En estudios realizados por Álvarez et al. (2013) en *Prosopis flexuosa* muestran que el diámetro y volumen de copa fueron los rasgos de mayor sensibilidad frente a distintas intensidades de poda. Por otro lado, en estudios realizados por Hess et al. (2016) en *Araucaria*, muestran mayor desarrollo en árboles dominantes.

**Tabla 1 – Características morfométricas para *Prosopis alba*.**

Table 1– Morphometric characteristics for *Prosopis alba*.

Variable	Posición sociológica	N	Media	D.E.	Min	Máx	Mediana	Q1	Q3
DAP	PS1	31	53,8	15,7	30,2	88,2	52,5	41,4	63,7
	PS2	54	35,1	9,9	19,7	63,5	33,6	29,8	38,6
	PS3	15	28,7	6,8	20,7	43,0	27,7	23,1	31,8

Continua...

Tabla 1- Conclusión...

Table 1- Conclusion...

Variable	Posición sociológica	N	Media	D.E.	Min	Máx	Mediana	Q1	Q3
<b>Ht</b>	PS1	31	12,3	1,2	11	16,4	12,0	11,3	13,2
	PS2	54	9,0	1,0	7,25	10,9	9,0	8,2	9,9
	PS3	15	6,5	0,6	5,2	7,0	6,8	6,1	6,9
<b>Hc</b>	PS1	31	9,2	1,8	4,5	14,2	9,0	8,4	10,1
	PS2	54	5,6	1,7	2	9,4	5,5	4,4	7
	PS3	15	4,2	0,9	2,6	5,6	4,3	3,3	5,1
<b>Rmc</b>	PS1	31	6,3	1,4	3,5	9,0	6,4	5,5	7,0
	PS2	54	5,1	1,3	2,9	8,1	4,8	4,2	5,6
	PS3	15	4,1	0,9	1,7	5,3	4,3	3,4	4,6
<b>Dc</b>	PS1	31	12,6	2,7	7,02	18,0	12,7	11,1	13,9
	PS2	54	10,1	2,5	5,9	16,2	9,7	8,2	11,2
	PS3	15	8,1	1,9	3,4	10,7	8,5	6,9	9,2
<b>Gc</b>	PS1	31	86,6	35,7	25,8	168,7	84,8	64,3	100,5
	PS2	54	56,7	29,2	17,9	136,6	48,9	34,8	66,0
	PS3	15	36,1	14,4	6,1	59,8	37,8	24,8	44,3
<b>Vc</b>	PS1	31	830,6	447,4	116,1	2098,5	717,7	579,9	1099,3
	PS2	54	350,2	260,3	36,2	1274,3	293,1	157,9	466,8
	PS3	15	159,4	78,7	19,6	305,0	166,1	114,7	203,9
<b>E</b>	PS1	31	24,5	6,6	14,4	39,9	21,9	20,1	28,8
	PS2	54	27,3	7,0	15,8	47,1	26,9	22,6	29,3
	PS3	15	23,7	4,9	16,1	33,6	23,4	21,7	24,9
<b>Pc</b>	PS1	31	74	10,1	37,8	87,0	76,0	71,2	80,6
	PS2	54	61,6	15,2	26,7	87,1	62,1	52,5	74,1
	PS3	15	64,9	12,3	36,7	80,7	66,7	59,3	73,9
<b>Ic</b>	PS1	31	0,7	0,1	0,5	1,3	0,7	0,7	0,8
	PS2	54	0,6	0,1	0,3	0,9	0,5	0,5	0,7
	PS3	15	0,6	0,2	0,3	1,0	0,5	0,5	0,6
<b>Fc</b>	PS1	31	1,4	0,2	0,8	1,9	1,4	1,2	1,5
	PS2	54	1,9	0,5	1,17	3,3	1,9	1,5	2,2
	PS3	15	2,0	0,5	1,05	3,4	2,0	1,7	2,1
<b>Is</b>	PS1	31	24,3	5,3	16,4	39,8	23,3	20,8	26,5
	PS2	54	29,4	5,3	19,4	46,7	28,8	25,9	32,5
	PS3	15	28,7	5,8	13,2	37,6	28,8	25,8	31,2

Continua...

**Tabla 1– Conclusión...**

Table 1– Conclusion...

Variable	Posición sociológica	N	Media	D.E.	Min	Máx	Mediana	Q1	Q3
Ia	PS1	31	1,0	0,2	0,6	1,4	1,0	0,9	1,2
	PS2	54	1,1	0,3	0,7	1,8	1,1	0,9	1,3
	PS3	15	1,2	0,3	0,6	1,6	1,3	1,1	1,5
DAP– Rmc	PS1	31	8,6	1,7	5,0	12,2	8,6	7,5	9,6
	PS2	54	7,0	1,2	4,3	10,3	6,9	6,2	7,7
	PS3	15	7,4	2,3	5,3	15,2	6,9	6,4	7,8

Dónde: n = número de observaciones; Q1= primer cuartil; Q3= tercer cuartil; D.E. = desvío estándar; Min.= mínimo; Max.= máximo; DAP = diámetro a la altura del pecho; Ht= altura total; Hc= longitud de copa; = Rmc= radio medio de copa (m); Dc= diámetro de copa (m); Gc = Sección de copa (m<sup>2</sup>); Vc= volumen de copa (m<sup>3</sup>); E= esbeltez; Pc= porcentaje de copa (%); Ic= índice de copa; Fc= forma de copa; Is= índice saliente; Ia= índice de amplitud.

En cuanto a los restantes índices morfométricos, se pudo observar que los valores promedios de esbeltez en la PS1 y PS3, fueron los valores más bajos y se mantuvieron en el mismo rango, lo que indica una mayor estabilidad en estas dos posiciones sociológicas para resistir a fuerzas mecánicas, cuando crece en formaciones naturales. Esta tendencia también fue observada por Orellana y Koehler (2008), donde árboles dominantes y dominados también presentaron los valores promedios más bajos.

Por su parte, el porcentaje de copa como indicador de la vitalidad del árbol, es más elevado en la posición sociológica dominante (74%), lo que muestra que árboles con mayores diámetros a la altura del pecho (DAP) y extensión de copa (Dc) tienden a presentar mayor proporción de copa, ese comportamiento de copa tan extensa puede deberse a su ocurrencia en sitios con baja ocupación de árboles, lo que va en detrimento de la arquitectura de los árboles en esta especie, por generar una mayor cantidad ramas con la consecuente formación de nudos. Estudios similares efectuados en *Araucaria* por Costa, Finger y Fleig (2016), muestran un comportamiento inverso, ya que los árboles de gran DAP tienden a presentar menor longitud de la copa, por lo que este rasgo es intrínseco de cada especie.

El índice de copa (Ic) considerado como un criterio útil en la evaluación de la calidad y productividad de un rodal, tuvo una tendencia de disminución de la PS1 a PS3, lo que indica que la productividad de árboles dominantes fue superior a los co-dominantes y dominado no existiendo grandes discrepancias en estas dos últimas posiciones sociológicas. Estudios efectuados por Aguilar (2005), Luna y Hernández (2008) en especies de *Pinus* consideran que valores bajos de este índice se asocian a condiciones de sitios desfavorable para el crecimiento de esta especie. Sin embargo los bajos valores de Ic en *P. alba* pueden deberse a que se trata de latifoliadas, con crecimiento simpódico y con un sistema de ramificaciones que supera al de coníferas.

En cuanto a la forma de copa, Durlo y Denardi (1998), establecen que cuanto menor es la forma de copa, mayor es la productividad, es decir, valores bajos indican árboles con copas esbeltas, mientras que valores altos indican copas achatadas; por lo que este rasgo es válido para prescribir aclareos en el manejo forestal. En este estudio Fc aumentó de la PS1 a la PS3, lo que indica que árboles dominantes tendrían mayor productividad con valores de 1,4. Estudios llevados a cabo por Orellana y Koehler (2008) encontraron formas de copa similares (1,3) en árboles dominantes de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. Sin embargo, estos valores son muy elevados comparados con los registrados en otras especies de latifoliadas, como *Cordia trichotoma* donde Román, Bressan y Durlo (2009) registraron Fc 0,6, por lo

que el algarrobo blanco en general tiene formas de copa muy extendidas y hemiesferoidales en las tres posiciones sociales, esto sería una desventaja en la productividad de madera para aserrío en la especie.

A través del índice de saliente, es decir, la relación entre el diámetro de copa y el DAP, se observa que *P. alba* tiene un diámetro de copa aproximadamente 24 veces mayor que el DAP, en posición sociológica dominante, siendo mayor en PS2. El índice saliente puede ser usado como indicador del espacio necesario para cada árbol, al adquirir determinado diámetro. Por ejemplo, se estima que para producir algarrobos con 50 cm de DAP, se tendría un diámetro de copa de 12 m (50 cm x 24) y bajo el supuesto de copas redondeadas, se tendrían aproximadamente, 89 árboles por hectárea, sin que existiera ninguna competencia entre ellas. En general, el promedio del índice saliente en la PS1 para este estudio, está dentro del rango de valores observado por Román, Bressan y Durlo (2009), al afirmar que en formaciones de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. este índice varía de 16-38. Por su parte Hess et al. (2016) encontraron valores promedios semejantes en *Araucaria angustifolia* con 23,6.

En cuanto al índice de amplitud (Ia) tuvo una variación entre 0,6 y 1,8, con un valor medio de 1,0 en posición dominante, el mismo tiende a disminuir con el aumento de la altura. Si una población es manejada por su altura, puede utilizarse este índice como criterio para la toma de decisiones en un plan de aclareo (ORELLANA; KOEHLER, 2008). Estudios previos efectuados por Tonini y Arco-Verde (2005) reportan un índice de amplitud medio de 0,6 para *Bertholletia excelsa* en el Amazonas. Esto indicaría que el algarrobo blanco tiende a extenderse en mayor medida lateralmente que en altura.

El índice de DAP/Rc es una medida de la eficiencia en la acumulación de DAP por unidad de área de copa (LOCKHART; WEIH JUNIOR; SMITH, 2005), cuanto mayor es la relación, más eficiente es un árbol en la acumulación de diámetro, se calculó que en árboles dominantes de *P. alba*, por cada metro de incremento en el radio de copa, el DAP se incrementa en promedio 8,58 cm, este índice no presenta grandes diferencias en las restantes posiciones sociales. Estos valores son similares a los encontrados por Lockhart, Weih Junior y Smith (2005) donde individuos de olmo americano registraron un índice de 7,9 cm.

## Correlaciones morfométricas

Los índices morfométricos presentaron correlaciones entre sí (Tabla 2), los valores variaron de 0,99 a -0,93 y explican los resultados de índices promedios calculados para *Prosopis alba* en ambientes naturales. Correlaciones altas, positivas y significativas con el DAP fueron en la sección, volumen de copa, porcentaje de copa, altura total, longitud de copa, y el diámetro de copa a un nivel  $p=0,01$ , lo que indica que estos rasgos incrementan a medida que aumenta el DAP. En tanto el DAP mostró una correlación negativa con la esbeltez e índice saliente. Tonini y Arco-Verde (2005) encontraron correlaciones semejantes en cuatro especies nativas del Amazonas. Por su parte, Orellana y Koehler (2008) en *Ocotea odorífera* observaron similares correlaciones en el estado de Paraná, Brasil y Hess et al. (2016) en *Araucaria angustifolia* el Sur de Brasil.

Estas correlaciones pueden tener implicancias en el manejo forestal, ya que brinda la posibilidad de saber que tan asociadas se encuentran dos variables, muchas de las cuales pueden obtenerse de forma indirecta empleando mediciones con tecnología LIDAR. Tal es el caso de estudios llevados a cabo de Figueiredo et al. (2014), donde correlacionó y empleó variables morfométricas en ecuaciones que le permitieron estimar el volumen del fuste.

**Tabla 2 – Correlación de Pearson para índices morfométricos de *Prosopis alba* en sitios naturales de la Región Chaqueña, Argentina (N=100)**Table 2 – Pearson correlation for the morphometric indices of *Prosopis alba* in natural sites in the Chaqueña Region, Argentina

	DAP	E	Vc	%C	Ic	Fc	Is	Ia	Ht	Hc	Gc	Dc
DAP	1,00	-0,69**	0,87**	0,49**	0,20*	-0,24*	-0,58**	0,24*	0,75**	0,76**	0,83**	0,82**
E	-0,69**	1,00	-0,47**	-0,34**	0,25*	-0,19	0,53**	-0,60**	-0,10	-0,26	-0,56	-0,56
Vc	0,87**	-0,47**	1,00	0,65**	0,25*	-0,31**	-0,23*	0,32**	0,76**	0,87**	0,95**	0,92**
%C	0,49**	-0,34**	0,65**	1,00	0,52**	-0,63**	0,04	0,40**	0,41**	0,80**	0,61**	0,65**
Ic	0,20*	0,25*	0,25*	0,53**	1,00	-0,93**	-0,27*	-0,52**	0,56**	0,64**	0,03	0,02
Fc	-0,24*	-0,19	-0,31**	-0,63**	-0,93**	1,00	0,21*	0,41**	-0,55**	-0,67**	-0,12	-0,12
Is	-0,58**	0,53**	-0,23*	0,04	-0,27	0,21*	1,00	0,32**	-0,38**	-0,24*	-0,11	-0,06
Ia	0,24*	-0,60**	0,32**	0,40**	-0,52**	0,41**	0,32**	1,00	-0,25*	0,06	0,54**	0,58**
Ht	0,75**	-0,10	0,76**	0,41**	0,56**	-0,55**	-0,38**	-0,25	1,00	0,86**	0,62**	0,63**
Hc	0,76**	-0,26**	0,87**	0,80**	0,64**	-0,67**	-0,24*	0,06	0,86**	1,00	0,75**	0,76**
Gc	0,83**	-0,56**	0,94**	0,61**	0,03	-0,12	-0,11	0,54**	0,62**	0,75**	1,00	0,99**
Dc	0,82**	-0,56**	0,92**	0,65**	0,02	-0,12	-0,06**	0,58**	0,63**	0,76**	0,99**	1,00

Dónde: \*\* = Correlación significativa a un nivel 0,01; DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); E = grado de esbeltez; Vc = volumen de copa (m<sup>3</sup>); % C = porcentaje de copa (%); Ic = índice de copa; Fc = forma de copa; Is = índice saliente; Ia = índice de amplitud; Ht = altura total (m); Hc = longitud de copa (m); Gc = sección de copa (m<sup>2</sup>); Dc = diámetro de la copa (m).

## Modelos de Regresión Simple

En la Tabla 3, se muestran los modelos resultantes con mejores ajustes de rasgos morfométricos, los cuales describen el cambio morfológico que experimentan los árboles a medida que crecen (ROMÁN; BRESSAN; DURLO, 2009).

**Tabla 3 – Modelos de regresión para las variables morfométricas de *Prosopis alba*.**Table 3 – Regression models for the morphometric characteristics of *Prosopis alba*.

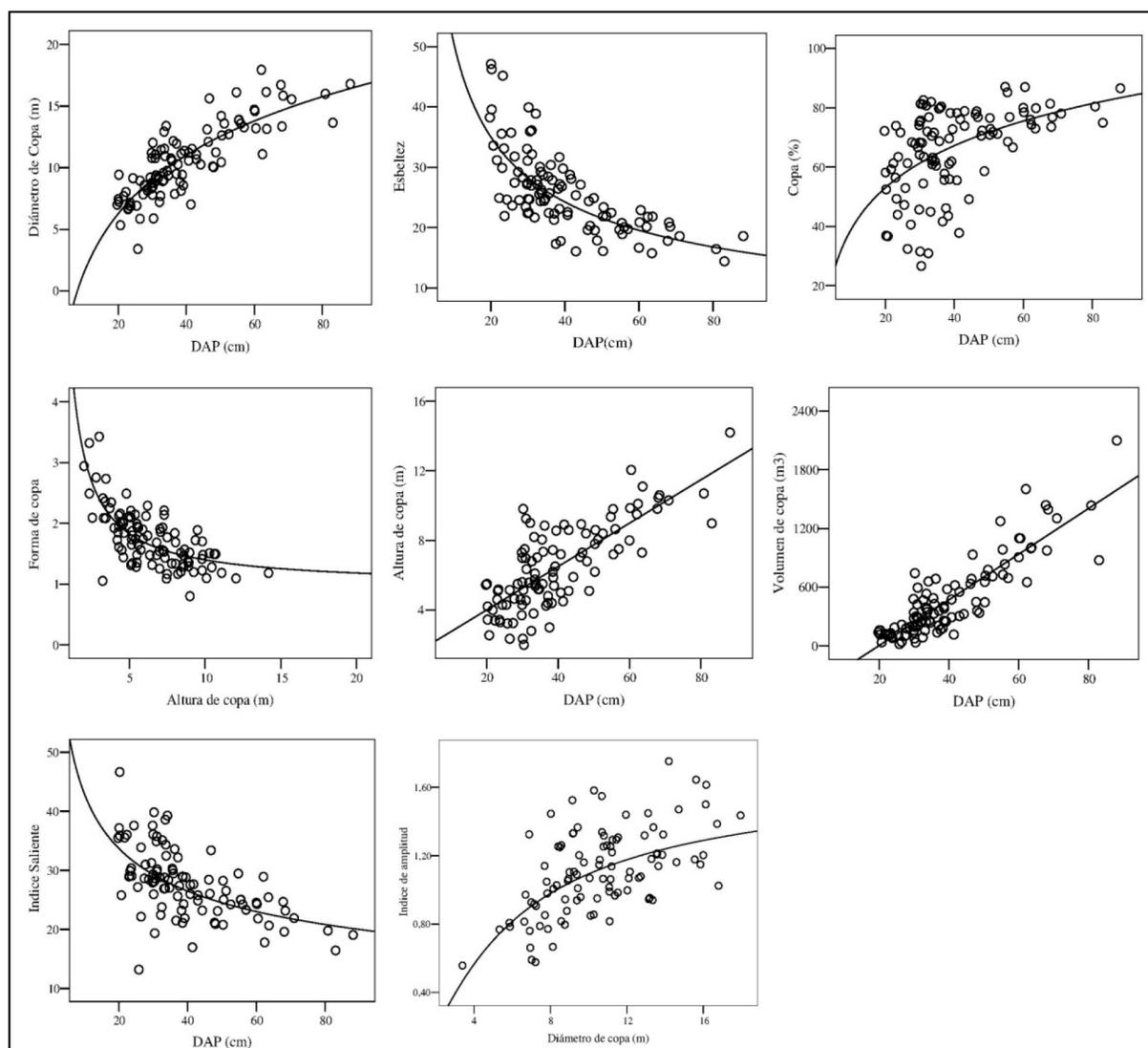
Nº eq	Ecuación	R <sup>2</sup> aj	F	Sig. F	E. E.
1	Dc = -14,29 +6,85*Ln(DAP)	0,68	216,6	<0,0001	1,6
2	E=171,57*(DAP) <sup>-0,53</sup>	0,57	130,9	<0,0001	0,16
3	%C=20,46*Ln(DAP)	0,24	33,0	<0,0001	12,5
4	Fc= 0,95+4,48(1/Hc)	0,60	143,95	<0,0001	0,3
5	Hc=1,52+0.125(DAP)	0,58	138,19	<0,0001	1,6
6	Vc=-460,22+23,295(DAP)	0,76	310,49	<0,0001	194,8
7	Is=105,58*(DAP) <sup>-0,37</sup>	0,42	72,07	<0,0001	0,15
8	Ia=0,53-4,41(1/Dc)	0,39	64,39	<0,0001	0,2

Dónde: Ln = logaritmo neperiano; Dc = diámetro de copa; E = grado de esbeltez; DAP = diámetro a la altura del pecho; %C = porcentaje de copa; Fc = forma de copa; Hc = longitud de copa, Vc = volumen de copa; Is = índice saliente; Ia = índice de amplitud; N<sup>o</sup> eq = número de ecuación; E.E. = error de estimación.

El grado de esbeltez (E) en función del DAP, se ajustó a función potencial con pendiente negativa, con  $R^2_{aj}=0,57$ , a medida que aumenta el DAP el grado de esbeltez disminuye, por lo que la estabilidad de los árboles contra daños mecánicos tiende a aumentar (Figura 2). Costa, Finger y Fleig (2016), en estudios similares realizados en el municipio de Lages, Brasil, encontraron valores semejantes con  $R^2_{aj}=0,60$ . Mientras que Durlo (2001), en ecuaciones lineales encontró un  $R^2_{aj}=0,7$  en *Cabralea canjerana*, para las clases dominante y co-dominante.

**Figura 2 – Relación entre características morfométricas para *Prosopis alba*.**

Figure 2 –Relationship between morphometric characteristics for *Prosopis alba*.



Fuente: Autores (2018)

Source: Authors (2018)

El diámetro (Dc), porcentaje (%c), longitud (Hc) y volumen de copa, se relacionaron significativamente con el DAP, con tendencia a aumentar con el incremento en DAP. Este

comportamiento también fue observado por Bender et al. (2015) en *P. alba* donde el ancho de copa en función del DAP se ajustó alta y significativamente ( $R^2=0,72$ ) a una función exponencial. Igualmente, Cisneros y Moglia (2017), observaron la misma tendencia con el radio medio de copa en esta especie. Esto podría sugerir que la especie asigna en forma proporcional la producción metabólica en las distintas partes de la planta.

Por su parte, Figueiredo et al. (2014) encontró que las variables morfométricas son una herramienta útil para desarrollar ecuaciones capaces de estimar con precisión el volumen del fuste de árboles dominantes y co-dominantes en bosques tropicales. Recientemente, Figueiredo et al. (2017), desarrollaron ecuaciones para estimar el área de claros individuales de árboles dominantes y co-dominantes a partir de la morfometría de la copa, encontrando que las variables explicativas que mejor estiman los claros son el volumen de copa (VCop) y el área de proyección de la copa (APC). El ajuste con ecuaciones demuestra el potencial y la practicidad que tienen las variables morfométricas para obtener información de importancia en el manejo de la masa (estimar claros, volúmenes de árboles, estabilidad, vitalidad) a partir de variables sencillas de medir.

El mejor ajuste encontrado para la forma de copa fue la función inversa, con  $R^2$  aj. 0,596 y un error de estimación 0,297. A medida que aumenta la longitud de copa, individuos de *Prosopis alba*, tienden a tener copas más hemi-esferoidales, cuando disminuye el incremento en altura, la copa adquiere una forma más aplanada y extendida. Estudios morfométricos efectuados por Durlo (2001) determinaron una tendencia similar en *Cabralea canjerana* (Well.) Mart donde la forma de la copa tiende a disminuir con el aumento de la altura de los árboles. En cuanto al índice saliente disminuye con el incremento en diámetro (Figura 2). Tendencias análogas fueron observadas por Luna y Hernández (2008) en un bosque coetáneo de México.

## Regresión con variables *dummy*

### *Esbeltez (E)*

La comparación de regresiones entre las posiciones sociales, reveló diferencia estadística en la pendiente de la regresión de árboles dominantes  $D1^*(1/DAP)$  (Pr <0,0001) y dominados  $D2^*(1/DAP)$  (Pr. <0,0001) (Tabla 4), es decir, para un mismo DAP ocurre un cambio en la esbeltez de acuerdo a la posición social ocupada por el árbol.

**Tabla 4 -Parámetros estimados para el grado de esbeltez con variables *dummy*.**

Table 4 – Estimated parameters of slenderness rate with *dummy* variables

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3872,5	3	1290,8	210,5	<0,0001
Error	588,7	96	6,13	-	-
Total	4461,2	99	-	-	-
Variable	Parámetro	E. E.	T	p-valor	
Constante	3,7	0,9	3,9	0,0002	-
1/DAP	767,8	30,7	25,0	<0,0001	-
$D1^*(1/DAP)$	254,4	27,2	9,3	<0,0001	-
$D2^*(1/DAP)$	-219,3	20,6	-10,7	<0,0001	-

Donde: F.V. = fuente de variación; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; F = valor de F calculado; p-valor = valor de probabilidad de significancia para F; DAP = diámetro a la altura del pecho; D1 = variable *dummy* para árboles dominantes; D2 = variable *dummy* para árboles dominados.

La inclusión de variables *dummy* (D1) y (D2) para describir el efecto de la posición social dominante, y dominado - ecuación 9 - proporciona un valor  $R^2_{aj}$  de 0,86, algo superior a los observados en las regresiones simples sin discriminar posición sociológica (Tabla 3). Estudios análogos realizados por Costa, Finger y Fleig (2016), mencionan diferencias estadísticamente significativas en numerosos rasgos morfométricos entre el nivel y pendiente de las regresiones de árboles dominados en relación a los dominantes y co-dominantes.

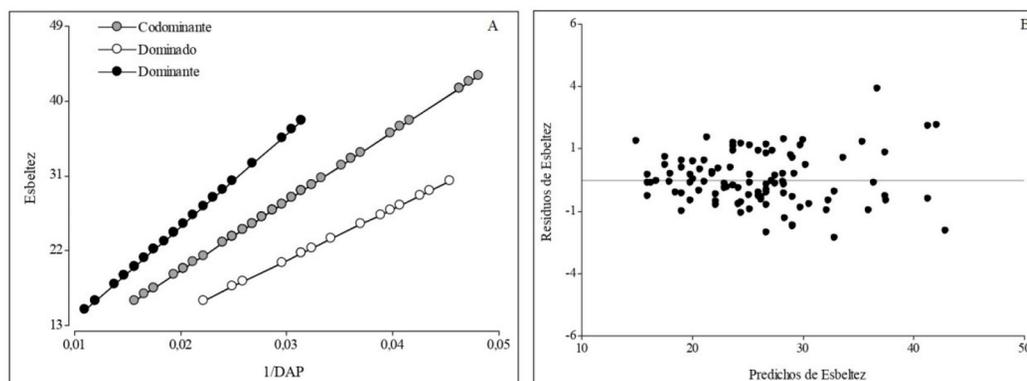
$$\hat{E} = 3,72 + 767,84 \left( \frac{1}{DAP} \right) + 254,37 \left( D1 \left( \frac{1}{DAP} \right) \right) - 219,27 \left( D2 \left( \frac{1}{DAP} \right) \right) \quad (9)$$

Donde:  $\hat{E}$  = esbeltez; DAP = diámetro a la altura del pecho; D1 = variable *dummy* para árboles dominantes; D2 = variable *dummy* para árboles dominados.

Como se observa en la Figura 3, existe una pequeña diferencia en las curvas de regresión en las tres posiciones sociales. La esbeltez entre árboles dominantes y dominados, fue estadísticamente significativa. El modelo de regresión con variable *dummy* cumple con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

**Figura 3 – A) Líneas de Regresión para grado de esbeltez en árboles de *Prosopis alba* en las tres posiciones sociales. B) Análisis gráfico de los residuos**

Figure 3 – A) Regression lines for slenderness rate in *Prosopis alba* trees in the three social positions. B) Graphical analysis of the residuals



Fuente: Autores (2018)

Source: Authors (2018)

## Porcentaje de Copa (%)

Las regresiones entre las posiciones sociales para el porcentaje de copa, mediante variables *dummy*, no mostraron diferencias entre los niveles de la regresión de árboles con posición social dominante - D1 (Pr. = 0,7118) y dominado - D2 (Pr = 0,8333) en relación con los co-dominantes. Solo hubo significancia en la pendiente de la regresión de árboles dominados -  $(1 / DAP) * D2$  (Pr. = 0,0428), la cual prácticamente se encuentra en el nivel de significancia estadística.

La inclusión de la variable *dummy* (D2) para describir el efecto de la posición social dominado, arrojó un valor de  $R^2_{aj}$  0,27 (Tabla 5). Estudios similares realizados por Costa, Finger y Fleig (2016) en *Araucaria* mostraron que las posiciones sociales de esos individuos no revelaron diferencia significativa para el porcentaje de copa. Sin embargo, en investigaciones abordadas por Padoin y Finger (2010) con %C en *Pinus taeda* L., revelan que el test con variables *dummy* mostró interacción significativa entre la altura dominante y la localidad del muestreo, es decir, el ajuste de la ecuación de regresión para porcentaje de copa se debe realizar para cada uno de los lugares de forma independiente.

**Tabla 5 – Parámetros estimados para porcentaje de copa (%c) con variables *dummy***Table 5 – Estimated parameters of percentage crown with *dummy* variable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5966,3	3	1988,8	13,1	<0,0001
Error	14573,2	96	151,8	-	-
Total	20539,5	99	-	-	-
Variable	Parámetro	E. E.	T	p-valor	
Constante	84,9	4,7	18,0	<0,0001	
1/DAP	-765,7	152,7	-5,0	<0,0001	
D2*(1/DAP)	209,9	102,3	2,0	0,0428	

Donde: F.V. = fuente de variación; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; F = valor de F calculado; p-valor = valor de probabilidad de significancia para F; DAP = diámetro a la altura del pecho D2 = variable *dummy* para árboles dominados.

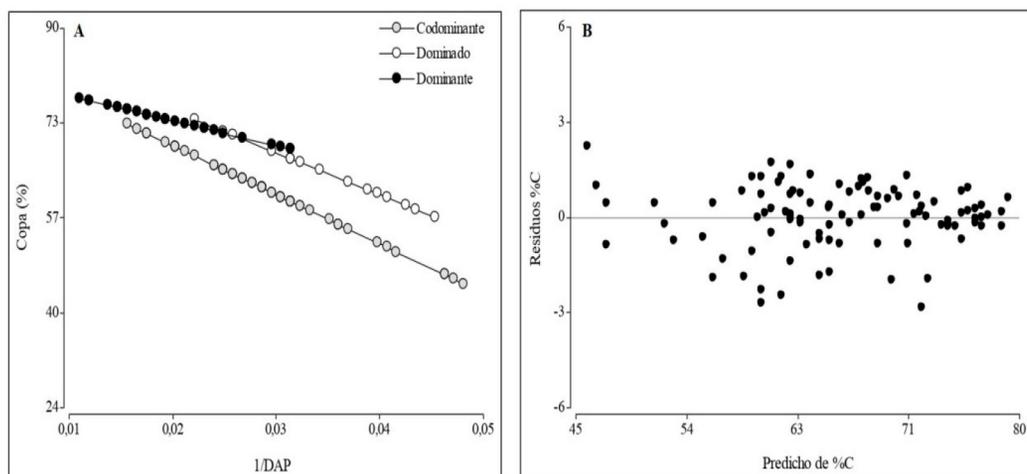
El modelo de regresión 10, con variables *dummy* mantuvo el mismo valor de intercepto para las tres posiciones sociales (84,96). A mayor porcentaje de copa, menor es la competencia a la que se ven sometidos estos individuos.

$$\widehat{P}_c = 84,96 - 765,74 \left( \frac{1}{DAP} \right) + 209,97 \left( D2 \left( \frac{1}{DAP} \right) \right) \quad (10)$$

Donde: %C= porcentaje de copa; DAP = diámetro a la altura del pecho; D2 = variable *dummy* para árboles dominados.

**Figura 4 – A) Líneas de Regresión para porcentaje de copa en árboles de *Prosopis alba* en las tres posiciones sociales. B) Análisis gráfico de los residuos**

Figure 4 – A) Regression lines for crown percentage in *Prosopis alba* trees in the three social positions. B) Graphical analysis of the residuals



Source: Authors (2018)

Fuente: Autores (2018)

En la Figura 4, es posible visualizar un leve solapamiento en las curvas en el porcentaje de copa de árboles dominantes y dominados. Los árboles de grandes diámetros (valores de 1/ DAP bajos) tienden a presentar mayor porcentaje de copa, ejemplares de esta especie suelen desplegar sus copas hasta el suelo y de acuerdo a este análisis es independiente de la posición social que ocupan, siempre y cuando se analicen árboles en ambientes naturales. No se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad por la prueba de Shapiro-Wilks ( $p= 0,0023$ ).

### Forma de copa (Fc)

La regresión entre las posiciones sociales, con variables *dummy*, reveló probabilidad significativa solamente para el nivel D1 (Pr. = 0,0045) y la intersección D1\*DAP (Pr. = 0,004) (Tabla 6), mostrando que el grupo de árboles dominantes tiene regresiones distintas en cuanto a la pendiente de la curva. De esta manera, la relación forma de copa no difirió entre árboles co-dominantes y dominados, al nivel D2 (Pr.= 0,9533) y pendiente D2\*DAP (Pr.= 0,6169), indicando que existe una misma razón entre el diámetro de copa y su longitud para árboles co-dominantes y dominados.

**Tabla 6 – Parámetros estimados para forma de copa (Fc) con variables *dummy***

Table 6 – Estimated parameters of form crown with *dummy* variable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11,1	3	3,7	31,2	<0,0001
Error	11,4	96	0,1	-	-
Total	22,6	99	-	-	-
Variable	Parámetro	E.E.	T	p-valor	
Constante	2,8	0,14	19,8	<0,0001	
Hc	-0,2	0,03	-6,6	<0,0001	
D1	-1,1	0,36	-2,9	0,0045	
D1*Hc	0,1	0,04	2,9	0,004	

Donde: F.V. = fuente de variación; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; F = valor de F calculado; p-valor = valor de probabilidad de significancia para F; Hc = longitud de copa; D1 = variable *dummy* para árboles dominantes.

La inclusión de variables auxiliares (D1) para describir el efecto de la posición social dominante - ecuación 11 - proporcionó un valor  $R^2_{aj}$  0,48, algo superior a lo observado en las regresiones conjuntas (Tabla 3). Estudios realizados por Costa, Finger y Fleig (2016) con variables *dummy*, mostraron que únicamente los árboles dominados tenían una regresión distinta en cuanto a la pendiente de la curva, opuesto a lo observado en el presente trabajo.

$$\widehat{Fc} = 2,81 - 0,17 (Hc) - 1,05 (D1) + 0,13 ((D1) Hc) \quad (11)$$

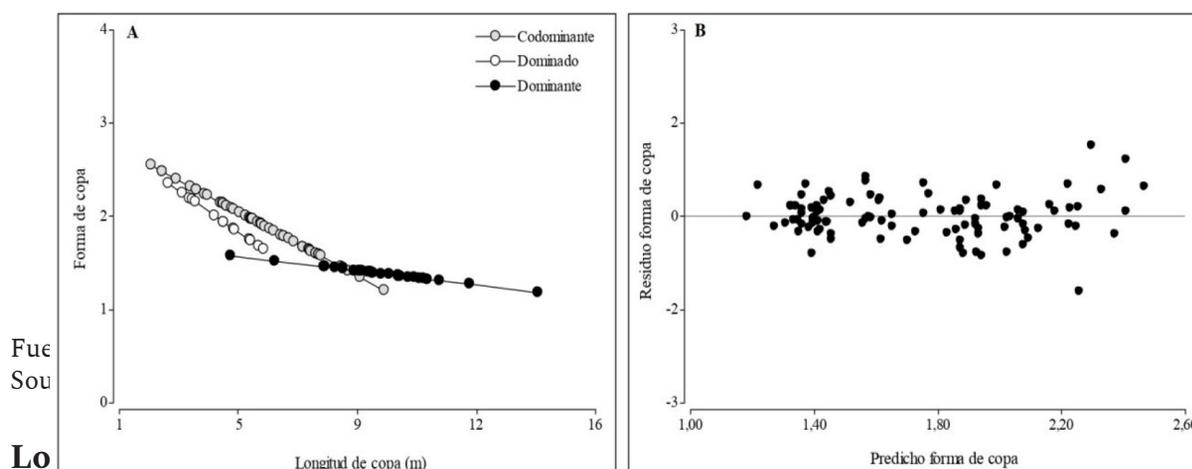
Donde: = forma de copa; Hc = longitud de copa; D1 = variable *dummy* para árboles dominantes.

El modelo de regresión con intercepto (2,81) indica que árboles de la clase social dominante con alturas superiores a los 10 m tienden a presentar menores valores de formas de copas (Figura 5), es decir, tienden a ser más productivos por sus copas más esbeltas, mientras que árboles de la clase social co-dominante y dominada tienen valores de forma de copa más altos lo que indica

copas achatadas. El modelo creado para forma de copa con variables *dummy*, cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas (Figura 5-B) y normalidad.

**Figura 5 - A) Líneas de Regresión para forma de copa en árboles de *Prosopis alba* en las tres posiciones sociales. B) Análisis grafico de los residuos**

Figure 5 – A) Regression lines for crown form in *Prosopis alba* trees in the three social positions. B) Graphical analysis of the residuals



Comparando las regresiones entre las posiciones sociales, apuntó probabilidad significativa la intersección  $D1^*(1/DAP)$  ( $Pr. <0,0001$ ) mostrando que el grupo de árboles dominantes tiene regresiones distintas en cuanto a la pendiente de las curvas (Tabla 7). Asimismo, la longitud de copa no difiere entre árboles co-dominantes y dominados. Estudios semejantes con variables *dummy* para longitud de copa, efectuados por Padoin y Finger (2010) demostraron que la pendiente y nivel entre las regresiones difiere significativamente según la localidad que se considere.

**Tabla 7 – Parámetros estimados para longitud de copa (Hc) con variables *dummy***

Table 7- Estimated parameter of crown length with *dummy* variable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	376,8	2	188,4	84,9	<0,0001
Error	215,1	97	2,22	-	-
Total	591,8	99	-	-	-
Variable	Parámetro	E. E	T	p-valor	
Constante	9,9	0,6	17,7	<0,0001	
1/DAP	-141,3	17,3	-8,2	<0,0001	
$D1^*(1/DAP)$	96,3	16,3	5,9	<0,0001	

Dónde: F.V. = fuente de variación; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; F = valor de F calculado; p-valor = valor de probabilidad de significancia para F; Dc = diámetro de copa D1 = variable *dummy* para árboles dominantes; D2 = variable *dummy* para árboles dominados.

La inclusión de la variable D1 para describir el efecto de la posición social dominante -ecuación 12- arrojó un valor de  $R^2$  aj. 0,63, similar al encontrado para las regresiones sin incorporación de las variables auxiliares (Tabla 3).

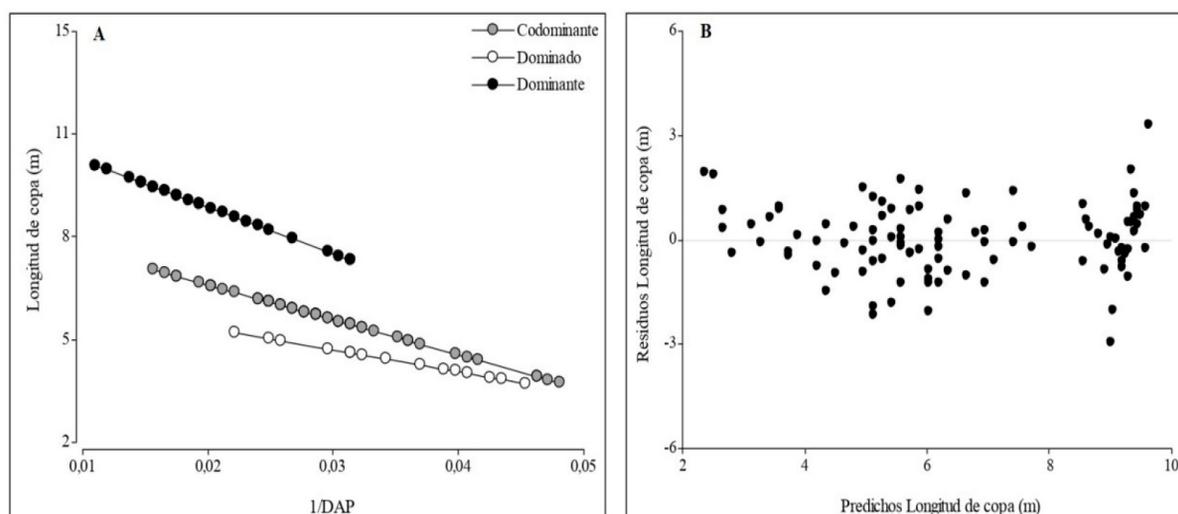
$$\widehat{Hc} = 9,89 - 141,26 \left( \frac{1}{DAP} \right) + 96,29 \left( D1 \left( \frac{1}{DAP} \right) \right) \quad (12)$$

Dónde: = longitud de copa; DAP = diámetro a la altura del pecho; D1 = variable *dummy* para árboles dominantes.

El modelo creado para longitud de copa con variables *dummy*, cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas (Figura 6-B) y normalidad.

**Figura 6 – A) Líneas de Regresión para longitud de copa en árboles de *Prosopis alba* en las tres posiciones sociales. B) Análisis grafico de los residuos**

Figure 6 – A) Regression lines for crown length in *Prosopis alba* trees in the three social positions. B) Graphical analysis of the residuals



Fuente: Autores (2018)

Source: Authors (2018)

## Volumen de copa

El análisis reveló, diferencias estadísticamente significativas entre los niveles D1 ( $Pr < 0,0001$ ) y la pendiente  $D1*(1/DAP)$  ( $Pr < 0,0001$ ), en las regresiones de árboles dominantes en relación a los co-dominantes. En tanto, árboles dominados no mostraron diferencias significativas a un nivel D2 ( $Pr.=0,0786$ ) ni pendiente  $D2*(1/DAP)$  ( $Pr.= 0,1214$ ), probando que árboles dominados y co-dominantes presentan similar desarrollo de copa, existiendo diferencias solamente en la posición social dominante (Tabla 8).

**Tabla 8 – Parámetros estimados para volumen de copa (Vc) con variables *dummy***Table 8 – Estimated parameters of crown volume with *dummy* variable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10878223,5	3	3626074,5	68,82	<0,0001
Error	5058240,5	96	52690,0	-	-
Total	15936464,1	99	-	-	-

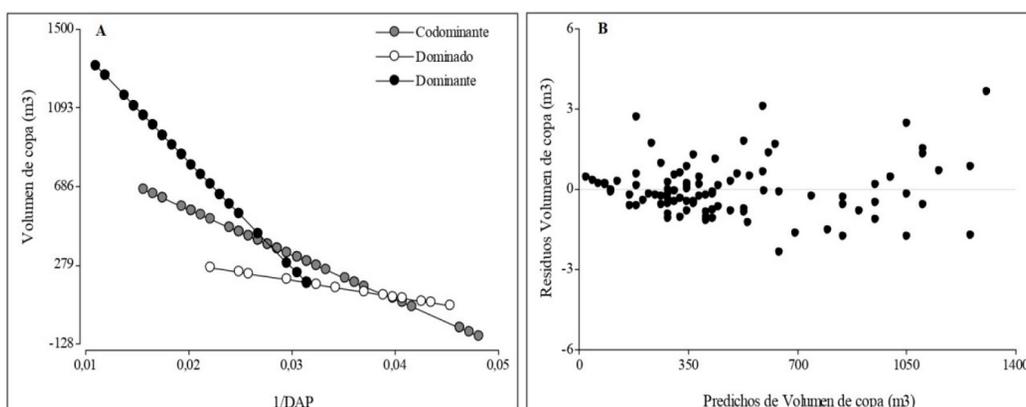
Variable	Parámetro	Error estándar	T	p-valor
Constante	954,2	108,2	8,8	<0,0001
1/DAP	-20218,9	3275,6	-6,2	<0,0001
D1	915,1	179,1	5,1	<0,0001
D1*(1/DAP)	-30814,7	7469,9	-4,1	0,0001

Dónde: F.V. = fuente de variación; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; F = valor de F calculado; p-valor = valor de probabilidad de significancia para F; DAP = diámetro a la altura del pecho; D1 = variable *dummy* para árboles dominantes.

La inclusión de la variable *dummy* (D1), para describir el efecto de la posición social dominante -ecuación 13-, elevó el valor de R<sup>2</sup> aj. a 0,67.

$$\widehat{Vc} = 954,23 - 20218,9 \left( \frac{1}{DAP} \right) + 915,13 (D1) - 30814,73 \left( D1 \left( \frac{1}{DAP} \right) \right) \quad (13)$$

Dónde: = longitud de copa; DAP = diámetro a la altura del pecho; D1 = variable *dummy* para árboles dominantes.

**Figura 7 – A) Líneas de Regresión para volumen de copa en árboles de *Prosopis alba* en las tres posiciones sociales. B) Análisis gráfico de los residuos**Figure 7 – A) Regression lines for crown volume in *Prosopis alba* trees in the three social positions. B) Graphical analysis of the residuals

Fuente: Autores (2018)  
Source: Authors (2018)

El modelo de regresión 13 con variable *dummy*, aumentó el valor del intercepto a 954,23, mostrando que árboles dominantes con diámetros promedios de 50 cm tienden a presentar mayor valor en volúmenes de copas. En esta condición los árboles co-dominantes y dominados, tuvieron menores volúmenes de copas. El coeficiente de la pendiente (-30814,73) para la interacción D1\*(1/DAP) indica una mayor reducción de volumen de copa en árboles dominantes a medida que aumenta el DAP.

Estudios de morfología de copas efectuados por Assmann (1970) cuantificaron la eficiencia de las copas en cuanto al incremento volumétrico del árbol, quedando demostrada la mayor viabilidad de copas largas y estrechas para el crecimiento del árbol. Por su parte Figueiredo et al. (2017) muestran el potencial predictivo que presentan variables morfométricas, sobre todo el volumen de copa, ya que esta información está directamente relacionada con el dominio espacial del árbol en el entorno forestal. En la figura 7-A, se observan las líneas de regresión para volumen de copa según la posición social.

### Índice saliente (Is)

En el análisis con variables *dummy*, solo aportó probabilidad estadísticamente significativa para la intersección entre arboles dominados y la inversa del DAP, D2\*(1/DAP) (Pr. = 0,0474). Lo cual indica que árboles dominantes y co-dominantes presentan similar índice saliente, existiendo diferencias solamente en la posición social dominada (Tabla 9).

**Tabla 9 – Parámetros estimados para índice saliente (Is) con variables *dummy***

Table 9 – Estimated parameters of salience index with *dummy* variable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	1207,0	2	603,5	27,8	<0,0001
<b>Error</b>	2106,3	97	21,7	-	-
<b>Total</b>	3313,3	99	-	-	-
Variable	Parámetro	E.E.	T	p-valor	
<b>Constante</b>	16,8	1,5	10,9	<0,0001	
<b>1/DAP</b>	399,4	54,3	7,4	<0,0001	
<b>D2*(1/DAP)</b>	-77,3	38,5	-2,0	0,0474	

Donde: F.V. = fuente de variación; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; F = valor de F calculado; p-valor = valor de probabilidad de significancia para F; DAP = diámetro a la altura del pecho; D2= variable *dummy* para árboles dominados.

La inclusión de la variable *dummy* (D2) para describir el efecto de la posición social dominado arrojó un valor de R<sup>2</sup>aj 0,35 –ecuación 14– similar a la regresión descripta para este rasgo en la tabla 3.

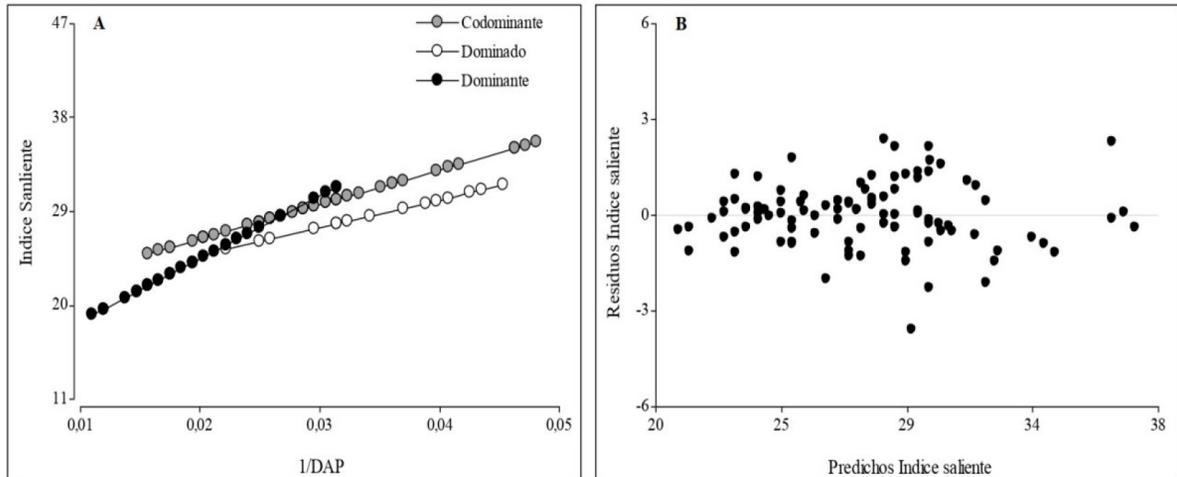
$$\hat{Is} = 16,8 + 399,41 \left( \frac{1}{DAP} \right) - 77,25 \left( D2 \left( \frac{1}{DAP} \right) \right) \quad (14)$$

Dónde: = Índice saliente; DAP = diámetro a la altura del pecho; D2= variable *dummy* para árboles dominados.

El modelo con variables *dummy* para el índice saliente, cumple con los supuestos de homogeneidad de varianzas (Figura 8-B) y normalidad.

**Figura 8 – A) Líneas de Regresión para índice saliente en árboles de *Prosopis alba* en las tres posiciones sociales. B) Análisis grafico de los residuos**

Figure 8 – A) Regression lines for salience index in *Prosopis alba* trees in the three social positions. B) Graphical analysis of the residuals



Fuente: Autores (2018)

Source: Authors (2018)

## Índice de amplitud

Las comparaciones de las regresiones con variables *dummy* mostraron diferencias significativas en las pendientes de árboles dominantes  $-D1^*(Dc)$ - (Pr.  $<0,0001$ ) y dominados  $-D2^*(Dc)$ - (Pr.  $<0,0001$ ) (Tabla 10), esto significa que para un mismo diámetro de copa ocurre un cambio en el índice de amplitud, conforme a la posición social ocupada. Esta discriminación del índice de amplitud de acuerdo a la posición social puede tener implicancias en el raleo de árboles, ya que Cunha y Finger (2013) mencionan que para la misma altura total alcanza mayor espacio el individuo que tiene el mayor diámetro de la copa.

$$\hat{Ia} = 0,2 + 0,09 (Dc) - 0,03(D1(Dc)) + 0,04 (D2(Dc)) \quad (15)$$

Dónde:  $\hat{Ia}$  = Índice de amplitud; Dc = diámetro de copa D1 = variable *dummy* para árboles dominantes; D2 = variable *dummy* para árboles dominados.

Tabla 10 – Parámetros estimados para índice de amplitud (Ia) con variables *dummy*

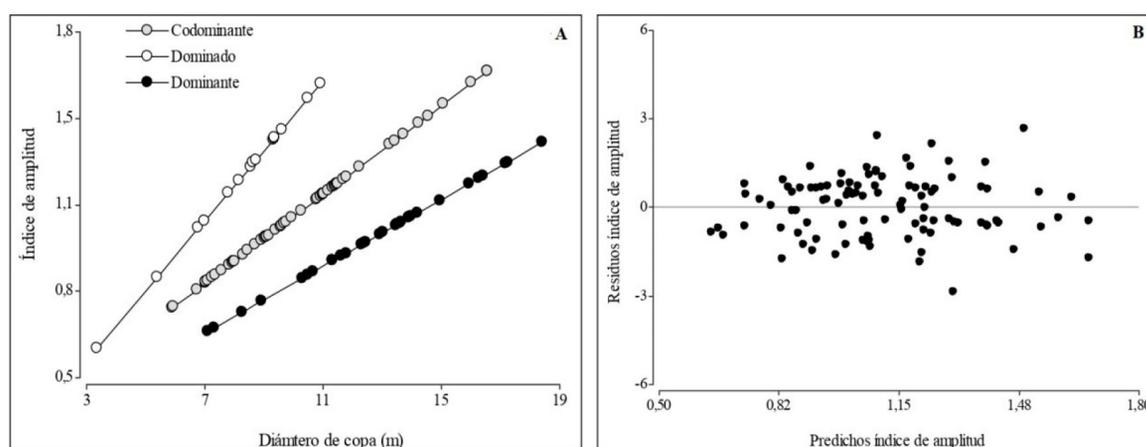
Table 10 – Estimated parameters of range index with dummy variable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,1	3	1,7	167,5	<0,0001
Error	0,9	96	0,0	-	-
Total	6,1	99	-	-	-
Variable	Parámetro	E.E.	T	p-valor	
Constante	0,2	0,04	4,6	<0,0001	
Dc	0,09	4,30E-03	21,0	<0,0001	
D1*(Dc)	-0,03	2,10E-03	12,2	<0,0001	
D2*(Dc)	0,04	3,60E-03	10,8	<0,0001	

Donde: F.V. = fuente de variación; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = cuadrado medio; F = valor de F calculado; p-valor = valor de probabilidad de significancia para F; Dc = diámetro de copa D1 = variable *dummy* para árboles dominantes; D2 = variable *dummy* para árboles dominados.

**Figura 9 – A) Líneas de Regresión para índice de amplitud en árboles de *Prosopis alba* en las tres posiciones sociales. B) Análisis gráfico de los residuos**

Figure 9 – A) Regression lines for range index in *Prosopis alba* trees in the three social positions. B) Graphic analysis of the waste



Fuente: Autores (2018)  
Source: Authors (2018)

## Conclusiones

Los índices morfométricos de copa son atributos y rasgos que definen a cada especie. El presente estudio permitió mostrar en forma general, que muchos de estos índices son afectados

por la posición sociológica de los individuos de *Prosopis alba*. Se obtuvieron correlaciones estadísticas altas y significativas entre varios caracteres morfométricos de copa con el DAP.

En los modelos de regresión simples probados se observa que a medida que los árboles presentan crecimiento diamétrico, ocurre: aumento en el diámetro de copa, porcentaje de copa, volumen de copa, longitud de copa, e índice de amplitud; y disminución del grado de esbeltez, forma de copa e índice saliente permitiendo que modelos de regresión lineales y curvilíneos estimen con precisión estas relaciones morfométricas en *Prosopis alba*. La existencia de estas relaciones podría permitir que, para fines de manejo forestal, variables de difícil medición (por ejemplo el volumen, sección de copa, porcentaje de copa, esbeltez) se determinen a partir de una variable de fácil obtención, como es el DAP.

Rasgos morfométricos en árboles de diferentes posiciones sociales, pueden ser descriptos por modelos únicos, mediante la utilización de variables *dummy*. Esto permitiría predecir intervenciones silvícolas (podas, aclareos, espacio vital ocupado por individuo) teniendo en cuenta rasgos de copa.

## Referencias

AGUILAR, D. A. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. **Kurú**, Costa Rica, v. 2, n. 5, p. 19-32, 2005.

ÁLVAREZ, J. A. *et al.* Effects of the pruning intensity and tree size on multi-stemmed *Prosopis flexuosa* trees in the Central Monte, Argentina. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 310, p. 857-864, 2013.

ARGENTINA. **Ley n° 25.080, de 16 de Diciembre de 1998**. Sanción de la Ley de Inversión para Bosques Cultivados. Buenos Aires: Presidencia de la Nación, [1998]. Disponible en: <http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/ley-25080.pdf>. Acceso en: enero 2017.

ARGENTINA. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. **Resolución n° 244, de 14 de junio de 2013**. Programa Nacional del Algarrobo. Buenos Aires: Ministerio de Producción y Trabajo, [2013]. Disponible en: <http://programanacionaldelalgarrobo.blogspot.com.ar/p/el-programa.html>. Acceso en: 1 mar. 2017.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

BALZARINI, M. *et al.* **Infostat**: software estadístico: manual del usuario. Córdoba: Brujas, 2008. 336 p.

BENDER, A. *et al.* Magnitudes dendrométricas de cuatro poblaciones de Algarrobo Blanco (*Prosopis alba* Griseb.) de diferentes edades. **FAVE**, Santa Fe, v. 14, n. 1, p. 17-32, 2015.

BURGER, H. Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. Mitt. Schweiz. Anst. f. forstl. Vers. **Wesen**, [s. l.], v. 21, p. 147-176, 1939.

CISNEROS A. B.; MOGLIA J. G. *Prosopis alba*, alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas. In: GIMÉNEZ, A. M.; MOGLIA, J. G. (ed). **Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino**. Ecoanatomía y biodiversidad. Una mirada propositiva. Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2017. p. 231-248.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; CUNHA, T. A. Influência da posição social e do número de raios na estimativa da área de copa em *Araucária*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 429-438, jul./set. 2013.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D. Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 225-234, jan./mar. 2016.

- CUNHA, T.A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 43, n. 1, p. 9-18, 2013.
- DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.
- FIGUEIREDO, E. O. *et al.* Equations to estimate tree gaps in a precision forest management area the amazon based on crown morphometry. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 41, n. 3, p. 1-13, 2017.
- FIGUEIREDO, E. O. *et al.* Modelos para estimativa de volume de árvores individuais pela morfometria da copa obtida com LIDAR. **Cerne**, Lavras, v. 20 n. 4, p. 621-628, 2014.
- GIMÉNEZ, A. M. *et al.* Estudio de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 45, n. 2, p. 175-183, 2001.
- GIMÉNEZ, A. M. *et al.* Leño y corteza de *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. **Bosque**, Valdivia, v. 19, n. 2, p. 53-62, 1998.
- GORLERI, M. C. Caracterización climática del chaco húmedo. In: HISTORIA natural y paisaje de la reserva el bagual, Formosa, Argentina: Inventario de la fauna de vertebrados y de la flora vascular de un área del Chaco húmedo. Buenos Aires: Aves Argentinas, 2005. p. 13-25. (Temas de Naturaleza y Conservación, n. 4).
- HASENAUER, H.; MONSERUD, R. A. Crown ratio model for Austrian forests. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 49-60, 1996.
- HESS, A. F. *et al.* Morfometria de la copa de *Araucaria angustifolia* en sitios naturales en el sur de Brasil. **Bosque**, Valdivia, v. 37, n. 3, p. 603-611, 2016.
- KARLIN, U.; BROSTEIN, G. Caracterización de los Sistemas de Producción del Árido Subtropical Argentino. In: REUNIÓN DE INTERCAMBIO TECNOLÓGICO EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS, 5., 1968. La Rioja: Orientación Gráfica Editora, 1968. p. 439-448.
- LOCKHART, B. R.; WEIH JUNIOR, R. C.; SMITH, K. M. Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species. **Journal of the Arkansas Academy of Science**, Arkansas, v. 59, n. 1, p. 110-115, 2005.
- LUNA, J. A. N.; HERNÁNDEZ, E. H. Relaciones morfométricas de un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. **Ra Ximhai**, Sinaloa, v. 4, n. 1, p. 69-82, 2008.
- MCINTOSH, A. C. S.; GRAY, A. N.; GARMAN, S. L. Estimating canopy cover from standard Forest Inventory Measurements in Western Oregon. **Forest Science**, Bethesda, v. 58, p. 154-167, 2012.
- NUTTO, L. *et al.* Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 42, p. 123-138, 2001.
- ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.
- PADOIN, V.; FINGER, C. A. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 95-105, jan./mar. 2010.

PIARFON. Caracterización del Chaco. In: PIARFON. **Propuesta de manejo sustentable de montes explotados del Chaco Semiárido**. Santiago del Estero: Proyecto de Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085 AR, 2005. t. 1, p. 17-27.

ROMÁN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, out./dez. 2009.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Equações para Estimativa do Diâmetro de copa para Acácia-negra. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 192-205, abr./jun. 2014.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfología da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, jul. 2005.

VERGA A. Recursos genéticos, mejoramiento y conservación de especies del género *Prosopis*. In: MEJORES Árboles para más Forestadores. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2005. p. 205-221.