



# INVESTIGACIONES EN FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA



**ISSN: 1853-6662**  
**Número 3**



**FACULTAD DE TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA**



## Relaciones alométricas en árboles individuales de *Prosopis alba*, en poblaciones naturales de la Región Chaqueña, Argentina

Cisneros, Ana B.<sup>1</sup>, Moglia, Juana G.<sup>2</sup>, Álvarez Juan A.<sup>3</sup>

(1) Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Silvicultura y Manejo (INSIMA), CITSE-CONICET, Av. Belgrano (S) 1912, Argentina, CP4200, cisnerosba@gmail.com

(2) Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Silvicultura y Manejo (INSIMA), Av. Belgrano (S) 1912, Argentina, CP 4200. vimog@unse.edu.ar

(3) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA); (CONICET - Provincia de Mendoza – Universidad Nacional de Cuyo). jalvarez@mendoza-conicet.gob.ar

**RESUMEN:** El presente estudio se realizó en 100 árboles individuales de *Prosopis alba*, correspondientes a tres sitios de la Región Chaqueña, Argentina, a los cuales se les midió diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (Ht), altura de fuste (Hf), ocho radios de copa, se estimó la sección, diámetro y el volumen de copa. El objetivo de este trabajo fue determinar una relación entre el DAP y todos los rasgos mencionados anteriormente, mediante una regresión lineal múltiple, de tal forma de explicar con la menor cantidad de variables posibles el DAP. También se estudió la relación entre radio medio de copa (RMC)-DAP, Ht- DAP, y DAP-RMC, empleando distintos modelos de regresión, esto permitiría estimar rasgos que son de importancia en inventarios. Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple muestran que el DAP puede estimarse a partir del RMC y la altura total, siendo el modelo y los coeficientes estadísticamente significativos, con un  $R^2$  ajustado 0,74. El análisis de regresión efectuado entre el RMC, altura total y DAP, también fueron fuerte ( $R^2 > 0,56$ ) y estadísticamente significativas ( $P < 0,001$ ). Se observó una estrecha relación entre el RMC-DAP ( $R^2 = 0,7$ ), seguida por DAP-RMC ( $R^2 = 0,69$ ) y la relación Ht-DAP con ( $R^2 = 0,56$ ). Los resultados de este estudio indican que la relación entre radio medio de copa-DAP y DAP a partir del RMC pueden ser descriptas por modelos cuadrático y lineal, respectivamente, mientras que la relación Ht-DAP puede ser descripta por un modelo exponencial.

**ABSTRACT:** This study was focused on 100 individual trees of *Prosopis alba*, at three different sites in the Chaco region, Argentina, which were measured diameter at breast height (DBH), total height (Ht), shaft height (Hf), eight crown radius; also the crown area, diameter and volume was estimated. The main objective of this work, was to determine a relationship between DAP and all the traits mentioned above through a multiple linear regression, using the fewest variables possible to explain the DAP. The relationship between the Mean Crown Radius (MCR) -DBH, Ht- DBH and DBH-MCR was also studied, to which different regression models were used, which would allow to estimate meaningful traits in inventories. The results of the multiple linear regression analysis showed that the DBH can be estimated from the MCR and the total height, being the model and the coefficients statically significant, with an adjusted  $R^2$  0.74. The regression analysis made between the MCR, total height and DBH was also statistically significant ( $p < 0.001$ ) and strong ( $R^2 > 0.56$ ). It was observed a close relationship between the RMC-DBH ( $R^2 = 0.7$ ), followed by DBH-MCR ( $R^2 = 0.69$ ) and Ht-DAP the relationship with ( $R^2 = 0.56$ ). The results of this study shows that the relationship between MCR-DBH and DBH from MCR can be described by quadratic and linear models, respectively, while Ht-DAP relationship can be described by an exponential model.

Palabras claves: DAP, radio medio de copa, altura total, regresión.

Keywords: DBH, mean crown radius, total height, regression.



## 1 INTRODUCCION

A nivel mundial, zonas áridas y semiáridas cubren alrededor del 60 % de la superficie de la tierra (FAO 2007), en América del Sur ocupan un 21 % de la superficie del continente, y en Argentina se estima que un 70% de la superficie del territorio está ocupada por estas tierras (UNESCO, 2010).

En Argentina se estima existen 28 especies de las 44 existentes en el género *Prosopis* (López, 2005). Dentro del género *Prosopis*, *Prosopis alba* (algarrobo blanco) es una especie forestal nativa de gran importancia en las Regiones semiáridas de Argentina (Giménez, *et al.* 2001), la cual se distribuye en aproximadamente 23.000.000 has de bosques nativos en el Parque Chaqueño (Verga 2005).

Se calcula, que en esta especie más del 80% de extracción de madera se concentra actualmente entre las provincias de Chaco y Formosa (Verga 2005). Esta cifra, refleja la importancia que tiene la especie en la región, y el negocio forestal (López, 2005). Sin embargo, la capacidad que tenían los bosques de algarrobo, para satisfacer la demanda de productos leñosos y alimenticios, fue limitada grandemente por la explotación forestal.

Por esta razón son numerosos los esfuerzos que se vienen realizando para domesticar la especie, tal es la importancia que existe el Programa Nacional del algarrobo (Resol 244/2013) y la Ley 25080 de Inversiones para Bosques Cultivados, que promueven las plantaciones forestales, enriquecimiento o emprendimientos silvopastoriles con esta especie. Esto sumado a la cantidad de tierras abandonada, por prácticas inadecuadas de riego, permite promover el desarrollo forestal maderero, en la Región Chaqueña.

Por este motivo es de sumo interés contar con información sobre rasgos que estén directamente relacionados con las dimensiones del tronco.

La copa de los árboles evidencia el potencial de la especie para crecer y desarrollarse, el cual está correlacionado directamente con el diámetro de tronco (Gering y May 1995). La copa es importante en el estudio de crecimiento de árboles individuales, en rodales, el vigor de los mismos y es utilizada para los modelos de índice aptitud de hábitat de vida silvestre (Hemery *et al.* 2005). También es un rasgo empleado para la selección de competidores ya que permite calcular el área de influencia de la copa de los árboles (Álvarez Taboada *et al.* 2003, Lockhart *et al.* 2005).

Las relaciones entre el diámetro de copa o radio medio de copa, el DAP y la altura en distintas especies, fueron abordadas por varios autores (Benítez Naranjo *et al.* 2003, Roman *et al.* 2009, Hemery *et al.* 2005, Lockhart *et al.* 2005, Bragg 2001, Gering y May 1995, Mugo *et al.* 2011, Avsaret *et al.* 2005, Nutto y Touza Vázquez 2006). Actualmente estas relaciones pueden ser usadas para determinar volúmenes de árboles y rodales por medio de fotografías aéreas, tecnología LIDAR (Gering y May 1995, Figueiredo *et al.* 2014, Valbuena Rabadán *et al.* 2016), ya que el diámetro o radio de copa puede ser estimado a partir de imágenes satelitales de alta resolución usando sensores remotos luego su conversión al DAP mediante relaciones alométricas y finalmente la determinación del volumen del árbol. Los costos de inventario serían generalmente reducidos comparados con mediciones convencionales de DAP y altura en árboles (Lockhart *et al.* 2005).

Si bien actualmente se cuenta con algo de información sobre su fisiología, crecimiento, propiedades del leño en algarrobo blanco (Turc and Cutter, 1984, Araujo *et al.* 2003, Gimenez *et al.* 1998, 2001, Juárez de Galindez *et al.* 2008, Meloni), aún son escasos los estudios sobre su copa y como este rasgo se relaciona con otras magnitudes tales como el diámetro y la altura, que son de gran interés para inventarios forestales en bosques nativos y manejo de plantaciones.

La hipótesis de trabajo es, existe relaciones morfométricas en el algarrobo blanco que pueden explicarse a través de funciones sencillas. Esto contribuye a contar con funciones alométricas, que permitan estimar rasgos importantes en un árbol (volumen, competencia, entre otros) sin necesidad de recurrir a campo.

Los objetivos de este trabajo son: a) determinar qué rasgo explica mejor la variabilidad del DAP mediante regresión lineal múltiple, con el fin de explicar con la menor cantidad de variables posibles el DAP. b) Desarrollar y seleccionar ecuaciones que relacionen RMC/DAP, el DAP/RMC y Htotal/DAP en árboles individuales de *P. alba* en la Región Chaqueña Argentina.

## 2 MATERIALES Y METODOS

El material estudiado corresponde a 100 individuos adultos de *P. alba*, con copa dominante y co-dominante, en los cuales se determinó la altura total, altura de fuste, y diámetro a la altura del pecho (DAP) en individuos mayores a 20 cm.



Para medir las dimensiones de las copas, se midieron los ocho radios de copa por individuo mediante el método de ángulos fijos (45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 360°) (Giménez et al. 2001), desde el centro del árbol al borde exterior de la misma, medidos en proyección vertical. La altura de copa, entendida como la altura desde la primera rama viva hasta el ápice (Álvarez Taboada et al. 2003). La sección de copa, ecuación [1], y volumen de copa, ecuación [2] fueron estimadas a partir de lo propuesto por Álvarez et al. (2013) en *Prosopis flexuosa*. Se localizó a cada individuo medido, mediante un posicionador geográfico (GPS).

$$Sc = \frac{2}{3} \pi RMC^2 \quad (1)$$

$$Vc = \frac{2}{3} \pi RMC^2 h \quad (2)$$

Donde,

Vc= volumen de copa (m<sup>3</sup>).

RMC = promedio de los radio de copa (m).

Sc = sección de copa (m<sup>2</sup>).

Hc= altura de copa (m).

El sitio primario de estudio pertenece a la zona Centro-Norte de Argentina y corresponde a las provincias de Santiago del Estero, Formosa y Chaco. En esta región del país, Dominio Chaqueño, las precipitaciones disminuyen hacia el Oeste (PIARFON 2005), de 1.200 mm en el este (Gorleri 2005), a menos de 100 en el extremo oeste (Karlin y Brostein 1986). 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.

Tabla 1. Medidas de resumen de rasgos morfométricos en *Prosopis alba*.

Rasgo	Media	DE	Min	Max
DAP (cm)	39,9	15,0	19,7	88,2
Ht (m)	9,7	2,2	5,2	16,4
Hf (m)	2,8	1,0	1,3	6,9
Hc (m)	6,5	2,5	2,0	14,2
RMC (m)	5,3	1,5	1,7	8,9
Dc(m)	10,6	2,9	3,4	17,9
Sc (m <sup>2</sup> )	62,9	34,3	6,1	168,7
Vc (m <sup>3</sup> )	470,5	401,2	19,6	2.098,5

Dónde: DE, desvío estándar; Min: mínimo; Max: máximo; DAP: diámetro a la altura del pecho, Ht: altura total, Hf: altura de fuste, Hc: altura de copa; RMC: radio medio de copa, Dc: diámetro de copa; Sc: sección de copa; Vc: volumen de copa.

Para determinar cuáles rasgos morfométricos explican mejor la variabilidad del DAP, es necesario discriminar que parte es debida al RMC y cuales debida a otros factores como la altura total, altura de fuste, sección de copa, diámetro de copa, volumen de copa. Para esto se ajustó inicialmente un modelo lineal básico, ecuación (3), que relacionó el DAP con todos los factores mencionados anteriormente. Teniendo en cuenta esta ecuación se creó un modelo, extrayendo las variables que explicaban lo mismo, analizando la existencia de multicolinealidad, mediante el factor de inflación de la varianza (FIV), desestimándola en caso que sean menores a 10 (Montgomery et al. 2006). Las ecuaciones se ajustaron por el procedimiento REG del programa estadístico SAS.

$$DAP = \beta_0 + \beta_1 Ht + \beta_2 Hf + \beta_3 Hc + \beta_4 Rc + \beta_5 Sc + \beta_6 Dc + \beta_7 Vc \quad (3)$$

Dónde: DAP: diámetro a la altura del pecho,  $\beta_1-7$ : coeficientes de la regresión, DAP: diámetro a la altura del pecho, Ht: altura total, Hf: altura de fuste, Hc: altura de copa; RMC: radio medio de copa, Dc: diámetro de copa; Sc: sección de copa; Vc: volumen de copa.

Por otro lado, se analizó la relación entre la Ht con DAP, RMC-DAP, y DAP-RMC. En este análisis fueron testeados modelos de regresión: lineal, logarítmica, inversa, cuadrática, cubica, compuesta, potencial, curva de S, crecimiento y exponencial. Para selección de los modelos de regresión se utilizó el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), error cuadrático medio (CMerror), el estadístico F y la significancia de F. En el análisis se usó un nivel de confianza de P = 0,05 para la significancia estadística. Este análisis fue realizado usando el paquete estadístico SPSS.



### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre rasgos medidos y calculados.

Rasgo	Ht	Hf	Hc	RMC	Dc	Sc	Vc	DAP
Ht	1.0	0.1	0.9	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7
Hf	0.1	1.0	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2
Hc	0.9	-0.4	1.0	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8
RMC	0.6	-0.3	0.8	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8
Dc	0.6	-0.3	0.8	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8
Sc	0.6	-0.3	0.7	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8
Vc	0.8	-0.3	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9
DAP	0.7	-0.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0

Dónde: DAP: diámetro a la altura del pecho (cm), Ht: altura total (m), Hf: altura de fuste (m), Hc: altura de copa (m); RMC: radio medio de copa (m), Dc: diámetro de copa (m); Sc: sección de copa (m); Vc: volumen de copa (m).

#### 3.1 El análisis de regresión lineal múltiple

Se estableció que los factores de inflación de la varianza fueron mayores a 10 para altura de copa, radio medio de copa, diámetro de copa, sección de copa y volumen de copa. Se extrajeron algunas de estas variables, las que tenían un VIF >10, en forma sucesiva, quedando un único modelo, ecuación (4).

$$DAP = 15.1 + 2.5 H_{total} + 5.9 RMC \quad (4)$$

Este modelo fue estadísticamente significativo  $F < 0,0001$ , con un  $R^2$  ajustado de 0,74, los VIF para todas las variables regresoras fueron menores a 10. El estimador para la altura de fuste no fue significativo para un nivel de confianza de 95 % con un  $P = 0.9163$ .

En cuanto al análisis de influencia la diagonal HAT del análisis en las 100 observaciones, cuatro árboles presentaron un valor superior a 0,08; en tanto en la distancia D Cook ninguna observación fue mayor a 1. Extrayendo los valores que superaban 0,08; se hizo correr nuevamente el modelo y no hubo grandes modificaciones en coeficientes de la regresión. Los supuestos de normalidad y de homocedasticidad se corroboraron en las Fig. 1 y 2, por lo que el modelo podría considerarse válido.

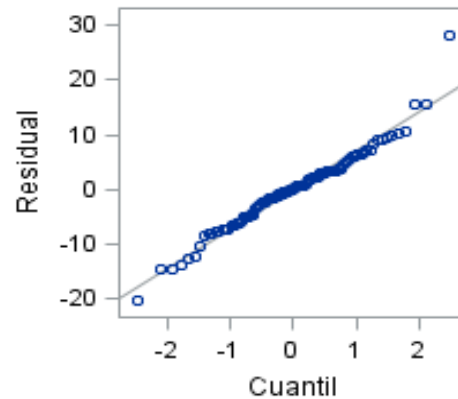


Figura 1. Prueba de normalidad de residuos

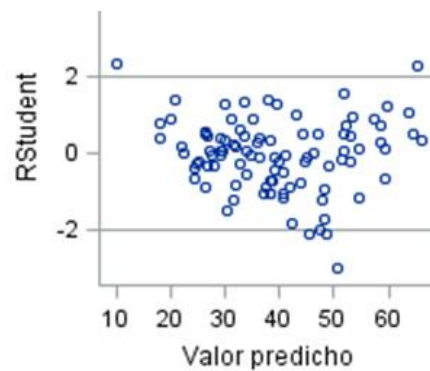


Figura 2. Prueba de homogeneidad de varianzas.

En estudios realizados Álvarez Taboada et al. (2003) en Lugo, España, estudiaron el índice de competencia y criterio de selección de competidores en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don., mediante una regresión lineal múltiple, encontrando un modelo con un coeficiente de correlación 0,75, similar a al encontrado en este estudio, y valores de inflación de la varianza para todas las variables menores a 10.

Tabla 3. Relaciones alométricas entre el DAP, Ht y RMC.

Modelo	$R^2$	Sig F	CM error
$RMC = 0,15(DAP) - 0,001(DAP)^2$	0,7	0,00	0,67
$H_{total} = 5,25 + 0,11(DAP)$	0,5	0,00	2,19
$DAP = 12,98e^{0,2(RMC)}$	0,6	0,00	0,04
	9	0	



### 3.2 Relación entre el RMC- DAP.

En esta relación el radio medio de copa y el diámetro a la altura del pecho fueron tomadas como variable dependiente e independiente, respectivamente. Los resultados del análisis de regresión revelan que el modelo de regresión cuadrático establecido entre estas dos variables fue estadísticamente significativo ( $F = 110,50$ ;  $P < 0,0001$ ),

Los coeficientes de la regresión  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  fueron estadísticamente significativos, mientras que la constante  $\beta_0$  no fue significativa para un nivel de confianza de 95 %, con un  $P = 0,323$ . Por lo que se puede ver, hay una fuerte relación lineal entre el RMC y el DAP (ver Fig.3), el DAP explica un 70 % de la variación observada en el radio medio de copa.

A medida que aumenta el DAP el RMC también sufre un incremento hasta alcanzar un óptimo.

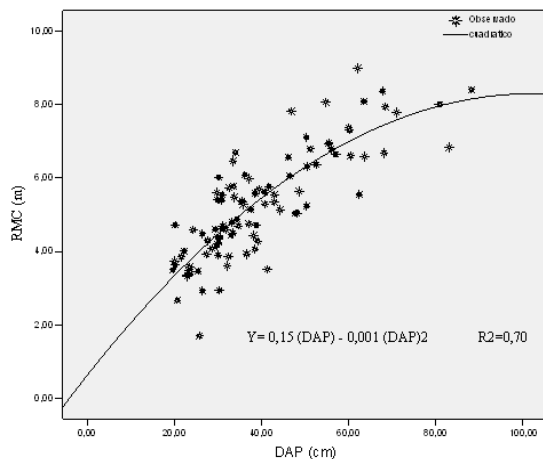


Figura 3. Relación entre el RMC y el DAP en 100 individuos de *Prosopis alba*, medidos a campo, en distintos sitios de la Región Chaqueña, Argentina.

Estudios realizados Nutto y Touza Vázquez (2006) en plantaciones, Galicia, España, mencionan que hay una alta relación entre el diámetro de copa y el diámetro normal con coeficientes de correlación de 0,96. Por otro lado, Benítez Naranjo et al. (2003), señalan que en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst., existen correlaciones de 0,92 entre el diámetro de copa y el DAP,

Relaciones entre el radio de copa y la edad para *P. alba* en Santiago del Estero, fueron abordadas por Giménez et al. (2001), determinando que estas dos variables se ajustan a una función potencial con  $R^2 = 0,65$ . Román et al. (2009)

también estudiaron esta relación encontrando una función logarítmica con un  $R^2 = 0,61$ , para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud en Santa María, Brasil.

En *Eucalyptus globulus*, Nutto y Touza Vázquez (2006), refieren una relación polinómica de tercer grado para estimar el diámetro de copa a partir del DAP, en el Norte de Galicia España. Benítez Naranjo et al. (2003) en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst., hallaron relaciones lineales entre el DC y el DAP con un  $R^2$  de 0,85. Estudios efectuados en la Isla Pittman, Mississippi, Estados Unidos, por Lockhart et al. (2005), en seis especies de madera dura, afirma que existe una relación lineal entre radio de copa y el DAP para *Fraxinus pennsylvanica* Marsh (fresno verde), con un  $R^2$  de 0,76, similar al valor encontrado en este estudio.

### 3.3 Relación entre altura-DAP.

En esta relación la altura fue tomada como variable dependiente y, el DAP fue la variable independiente. Los resultados del análisis de regresión revelan que el modelo de regresión lineal, establecido entre estas dos variables fue estadísticamente significativo ( $F = 124,09$ ;  $P < 0,0001$ ).

Los coeficientes de la regresión  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  fueron significativos,  $P < 0,0001$ . Existe una fuerte relación positiva lineal entre la altura total y el DAP (ver Fig. 4), ya que el DAP explica un 56 % de la variación observada en la altura total de los árboles.

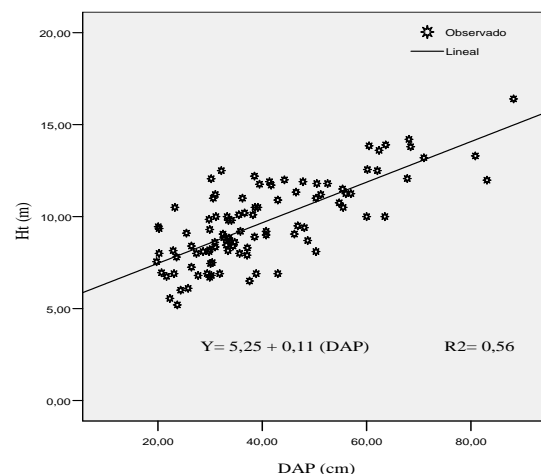


Figura 4. Relación entre la altura total (Ht) y el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), en 100 individuos de *Prosopis alba*, en la Región Chaqueña, Argentina.



Las relaciones de edad y altura en algarrobo blanco, fueron abordadas inicialmente por Giménez et al. (2001). Estos autores, encontraron una función polinómica de segundo grado, entre estas dos variables, con una fuerte asociación ( $R^2 = 0,9$ ), en el presente artículo estas relaciones no superan  $R^2 0,56$ , en este contexto se aconseja la utilización de la función lineal por tener el mayor  $R^2$ , el menor error de estimación y por ser de sencilla aplicación.

Avsar y Ayyildiz (2005), encontraron una relación potencial entre la altura y el DAP con un  $R^2 0,71$  y un error estándar de estimación de 0,20 en *Cedruslibani* A. Richen Turkia. Por otro lado, O'Brien et al. (1995), para ocho especies estudiadas encontraron relaciones lineales entre estas variables con coeficientes de determinación  $\geq 0,878$ .

### 3.4 Relación entre DAP-RMC.

Los resultados del análisis de regresión revelan que el modelo de regresión exponencial establecido entre estas dos variables fue estadísticamente significativo ( $F = 216,44$ ;  $P < 0,0001$ )

Los coeficientes de la regresión  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  fueron significativos,  $P < 0,0001$ . Existe una fuerte relación positiva no lineal entre el DAP y el radio de copa, (Fig. 5). Ya que el RMC explica un 69 % de la variación observada en el DAP de los árboles muestreados. Al estimarse con precisión el DAP, esta función podría combinarse con herramientas de tecnología LIDAR y ser útiles en inventarios forestales, sobre todo si se emplean en grandes superficies y preferiblemente sin pendiente.

Las estimaciones del DAP a partir del diámetro de copa también fueron abordadas por Mugo et al (2011), en *Cupressus lusitánica*, donde esta relación se ajusta a una función exponencial con un  $R^2 0,679$ , similares a las encontradas en este estudio entre el DAP y radio de copa. Otros estudios efectuados por Lockhart et al. (2005), en la Isla de Pittman, muestran que la relación lineal testeada entre DAP y el RMC para todas las especies estudiadas tienen un  $R^2 \geq 0,56$ , particularmente en *Celtislaevigata* Willd. Se observó coeficiente de determinación de 0,67 análogo al encontrado en el presente trabajo. Gering y May (1995), en Hardin, EE. UU., encontraron que la relación lineal ( $R^2 0,64$ ), para predecir el DAP a partir del diámetro de copa, en *Pinustaeda* L. y *Pinusechinata* Mill., muy similar

al coeficiente de determinación encontrado en este estudio.

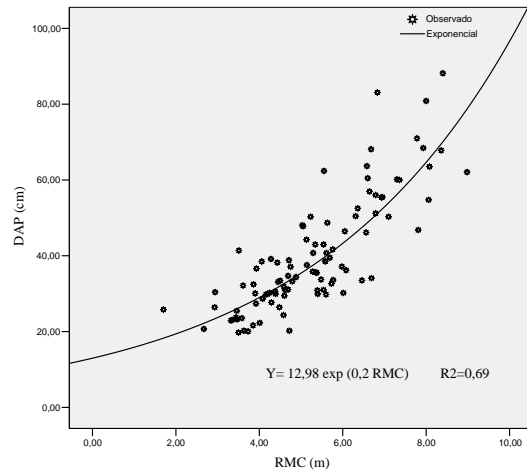


Figura 5. Relación entre el DAP y el radio medio de copa (RMC) en *P. alba*, Región Chaqueña, Argentina.

## 4 CONCLUSION

Los rasgos que mejor explican la variabilidad del DAP son RMC y Ht.

Los modelos de regresión cuadrático, lineal y exponencial establecido entre RMC/DAP, Htotal/DAP y el DAP/RMC fueron estadísticamente significativo y los que mejor se ajustaron.

## 5 REFERENCIAS

- Álvarez J, P Villagra, R Villalba, G Debaní. Effects of the pruning intensity and trees size on multi-stemmed *Prosopis flexuosa* trees in the Central Monte, Argentina. *Forest Ecology and Management* 310: 857-864. 2013.
- Álvarez TM, MB Anta, JG Varela, JÁ Gonzáles. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12 (2), 25-35. 2003.
- Avsar M, V Ayyildiz. The Relationships between Diameter at Breast Height, Tree Height and Crown Diameter in Lebanon Cedars (*Cedruslibani* A. Rich.) of the Yavsan Mountain, Kahramanmaras, Turkey. *Biological Sciences* 8 (9): 1228-1232. ISSN 1028-8880. 2005.
- Benítez Naranjo J, M Rivero Vega, A Vidal Corona, J Rodríguez, R Álvarez Rivera. Estimación del Diámetro de Copa a Partir del Diámetro Normal (d1,30) en plantaciones de



- CasurinaequisetifoliaForts. *Invest. Agr: Sist. Recur. For.* 12 (2), 37-41. 2003.
- Fagg C. y J. Stewart. 1994. The value of Acacia and Prosopis in arid and semi-arid environment. *AridEnvironment*. 27: 3-25.
- Figueiredo E.O., M.V. Nevesd'Oliveira, PM Fearnside, D de Almeida Papa. Modelos para estimativa de volume de árvoresindividuais pela morfometria da copa obtidacom LIDAR. *Cerne* 20 (4): 621-628. 2014.
- Gering L.R., D.M. May. The Relationship of diameter at breast height and crown diameter for four species groups in Hardin County, Tennessee. *Southern Journal of Applied Forestry* 19(4): 177-181.1995.
- Giménez A.M., N. Ríos, J. Moglia, C.Lopéz. Leño y corteza de *Prosopis alba*Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae, en relación con algunas magnitudes dendrométricas. *Bosque* 19(2): 53-62. 1998.
- Giménez A.M., N. Ríos, J. Moglia, P. Hernández, S Bravo. Estudio de magnitudes Dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba*Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae. *Forest. Venez.* 45(2) 175-183.2001.
- Gorleri MC. Caracterización climática del Chaco Húmedo. en Di Giacomo, A. G. y S. F. Krapovickas eds. *Historia natural y paisaje de la Reserva El Bagual, Formosa, Argentina*. Temas de Naturaleza y Conservación 4. Aves Argentinas / Asociación Ornitológica del Plata, Buenos Aires. p. 13-25.2005.
- Hemery G., P.S.Savill, S.N. Pryor.Applications of the crown diameter–stem diameter relationship for different species of broadleaved trees.*Forest Ecology and Management* 215: 285–294.2005.
- Juárez de Galindez M, AM Giménez, N Ríos, M Balzarini. Determinación de la edad de aprovechamiento de individuos de *Prosopis alba* mediante un modelo logístico de intercepto aleatorio para incrementos radiales. *Ciencia e Investigación Forestal. Instituto Forestal de Chile* 14 (2): 287- 299. 2008.
- Karlin U. y G. Brostein (1986). Caracterización de los Sistemas de Producción del Árido Subtropical Argentino. [http://www.produccion-animal.com.ar/regiones\\_ganaderas/21-CARACTERIZACION.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/regiones_ganaderas/21-CARACTERIZACION.pdf). Acceso: Enero de 2017.
- Lockhart B, RC Weih, KM Smith. Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species.*Journal of the Arkansas Academy of Science* 59: 110-115.2005.
- López C. *Mejores Árboles para más Forestadores*.Capítulo III: Evaluación de la variación genética de especies del género *Prosopis* de la Región Chaqueña Argentina para su conservación y mejoramiento. Norverto CA. Buenos Aires, Argentina., p 195- 203. 2005.
- Montgomery DC, EA Peck, GG Vining. 2006. *Introducción al Análisis de Regresión Lineal*. Capítulo 10: Multilinealidad. 3era Reimpresión, México. ISBN 970-24-0327-8. p 291-339.
- Mugo J, JT Njunge, RE Malimbwi, BN Kigomo, BN Mwasi, MN Muchiri. Models for Predicting Stem Diameter from Crown Diameter of Open Grown Trees in Sondu-Nyando River Catchment, Kenya.*Asian Journal of Agricultural Sciences* 3(2): 119-126, ISSN: 2041-3890. 2011.
- Nutto L., M. Touza Vázquez. Producción de Madera de Sierra de alta Calidad con *Eucalyptusglobulus*. *CIS-Madera* 1: 6-18.2006.
- O'Brien S., S. Hubbell, P Spiro, R Condit, R Foster. Diameter, Height, Crown, and Age Relationships in Eight Neotropical Tree Species.*Ecology*, 76(6):1926-1939. 1995.
- PIARFON. - *Parque Chaqueño – Subregión Chaco Semiárido*. Estudio de los sistemas productivos en montes nativos explotados en el Parque Chaqueño. Giménez, Santiago del Estero Argentina. p. 17-27. 2005.
- Rabadán M, J Peña, F Adán. Estimation of diameter and height of individual trees for *Pinussylvestris* L. based on the individualising of crowns using airborne LiDAR and the National Forest Inventory data. *ForestSystems* Vol. 25(1): 1-11. 2016.
- Román M, DA Bressan, MA Durlo. Variáveis Morfométricas e RelaçõesInterdimensionais para *CordiaTrichotoma* (Vell.) Arráb.exSteud. *CiênciaFlorestal, Santa Maria* 19 (4): 473-480. 2009.
- Sharifi M, E Nilsen, P Rundel.Biomass and net primary production of *Prosopis glandulosa* (Fabaceae) in the Sonoran Desert of California. *American Journal of Botany* 69(5): 760-767. 1982.
- Verga A. 2005. *Mejores Arboles para más Forestadores*.Recursos genéticos, mejoramiento y conservación de especies del género *Prosopis*. Norverto C.A. Buenos Aires. p 205-221.
- Villagra P. 2000. Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. *Multequina* 9(2): 35-51.





FAO 2007. *Secuestro de carbono en tierras áridas*. Capítulo II: Las Tierras Áridas del Mundo.

UNESCO, 2010. "Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe". Dentro del marco del proyecto "Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe". CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25.

Ministerio de Agroindustrias. Creación del Programa Nacional del Algarrobo. Resol. 244/2013:

<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbxjb21pc2lvbm5hY2lvbmFsZGVsYWxnYXJyb2JvfGd4OjM4NjFiNjFINjJhZWNIYmM>.