

ECUACIONES ALOMÉTRICAS DE BIOMASA AÉREA PARA *Prosopis nigra* (GRISEB.) HIERON. "ALGARROBO NEGRO" (FABACEAE) EN BOSQUES DE ENTRE RÍOS (ARGENTINA)

Silvana M. Sione¹; Silvia G. Ledesma¹; Leandro J. Rosenberger¹; José D. Oszust¹;
Hernán J. Andrade-Castañeda²; Gabriel O. Maciel¹; Marcelo G. Wilson³; María C. Sasal³

¹Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ruta 11 km 10.5. 3101.
Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

²Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica. Grupo de Investigación PROECUT.
Barrio Santa Helena parte alta AA 546, Ibagué, Colombia

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Paraná. Ruta 11 km 12.5. 3101. Oro Verde, Entre Ríos-Argentina
E-mail: silvana.sione@fca.uner.edu.ar

Recibido: 19/12/19
Aceptado: 03/07/20

RESUMEN

En un escenario de cambio climático global dado por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, la estimación del carbono almacenado en los ecosistemas forestales es fundamental y requiere herramientas precisas de predicción de la biomasa. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la biomasa aérea y su distribución por compartimento en individuos de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. (algarrobo negro), estimar los factores de expansión de la biomasa (FEB) por clase diamétrica, y obtener ecuaciones alométricas de biomasa en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). En 30 individuos de distintas clases diamétricas, se midieron variables dasométricas y se determinó la biomasa total (Bt) y por compartimento. Se evaluaron y ajustaron 8 modelos genéricos de frecuente utilización en especies leñosas perennes y, adicionalmente, se construyeron nuevos modelos, utilizando como variables predictoras a aquellas que demostraron una alta correlación con la biomasa. La bondad de ajuste de los modelos se evaluó mediante el coeficiente de determinación ajustado, error cuadrático medio de predicción, estadígrafo PRESS, Criterios de Información de Akaike y Bayesiano e Índice Fournival. El valor promedio de FEB fue 4,98. Resultaron de mejor ajuste aquellas ecuaciones que tuvieron como predictoras a la variable combinada que incluye el diámetro a la altura del pecho -DAP- y la altura -h- ($DAP^2 \cdot h$), el diámetro basal (d_{30}) y h. El DAP y d_{30} fueron incluidos como variables explicativas de la biomasa en las regresiones simples. Por su practicidad y operatividad se recomienda utilizar la función $\ln(Bt) = -2,40 + 2,49 \cdot \ln(DAP)$. La comparación de estos modelos con otros desarrollados para *P. nigra* ratifica la importancia de generar funciones específicas para cada provincia fitogeográfica, a fin de brindar precisión a las estimaciones de biomasa y carbono.

Palabras clave: modelos, biomasa arbórea, reservorio de carbono, ecosistemas boscosos, Espinal

ALLOMETRIC EQUATIONS OF AERIAL BIOMASS FOR *Prosopis nigra* (GRISEB.) HIERON. "ALGARROBO NEGRO" (FABACEAE) IN FORESTS OF ENTRE RÍOS (ARGENTINA)

SUMMARY

In a global climate change scenario given by the increase of greenhouse gas emissions, forest ecosystems carbon storage estimations require precise tools for predicting biomass. The objectives of this study were to determine the aerial biomass and its distribution by compartment in *Prosopis nigra* (Griseb.) Hi-

eron. (algarrobo negro) individuals, to estimate the biomass expansion factors (FEB) by diametric class, and to obtain allometric equations of biomass, in native forests of the Espinal (Entre Ríos, Argentina). In 30 individuals of different diametric classes, dasometric variables were measured and the total biomass (Bt) and by compartment were determined. Eight generic models of frequent use in woody perennial species were evaluated and adjusted and, additionally, new models were created, using as predictive variables those that demonstrated high correlation with biomass. The goodness of fit of the models was assessed using the adjusted coefficient of determination, mean square prediction error, PRESS statistic, Akaike and Bayesian Information Criteria and Furnival Index. The mean value of FEB was 4.98. Those equations that had as predictors the combined variable diameter at breast height -DBH- and height -h- ($DBH^2 \cdot h$), the basal diameter (d_{30}) and h, were better adjusted. The DAP and d_{30} was included as explicative variables of biomass in simples regressions. Due to practicality and operation, the function $\ln(Bt) = -2.40 + 2.49 \cdot \ln(DBH)$ is recommended. The comparison of these models with others developed for *P. nigra* ratifies the importance of generating specific functions for each phytogeographic province, to add precision to biomass and carbon estimates.

Key words: models, arboreal biomass, carbon reservoir, forest ecosystems, Espinal

INTRODUCCIÓN

La captura y fijación de carbono (C) atmosférico constituye uno de los servicios ambientales que proveen los bosques nativos. La degradación y conversión de estos ecosistemas a otros tipos de cobertura afecta la provisión de estos servicios, y contribuye al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En la República Argentina, el 14,5% de las emisiones totales del país son atribuidas a la deforestación asociada al avance de la frontera agropecuaria (Programa Nacional ONU-REDD, 2019). En la provincia de Entre Ríos, también se ha producido una importante reducción del área boscosa, a tasas estimadas del 1,07% anual para el período 1991-2011 (Sabattini *et al.*, 2016). Para el año 2018, se ha reportado para esta provincia una reducción de 1436 ha de tierras forestales, lo que equivale a un porcentaje de pérdida del 0,14% anual (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2019).

El potencial de un sistema forestal para secuestrar y almacenar C en forma de biomasa depende del tipo de bosque y su etapa sucesional, la calidad de sitio, la edad, el régimen de manejo, la composición de especies y el contenido de C en los compartimentos de cada especie (Pardos, 2010). Es importante conocer el stock de C que se

puede almacenar en los diferentes tipos de asociaciones vegetales, a fin de conocer su potencial de captura y el rol del sector forestal en el cumplimiento de las metas establecidas en las Contribuciones Nacionales Determinadas de los países en el marco del Acuerdo de París. En el extenso territorio argentino, las causas, tipos y tasas de deforestación o degradación difieren según la zona ecológica. Esta situación hace necesario el desarrollo de esquemas de intervención a ser abordados en la estrategia nacional de REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación), que tengan en cuenta las condiciones específicas de cada ecoregión. En este contexto, es necesario contar con datos sólidos, consistentes y específicos sobre la cobertura boscosa, las emisiones y captura de C de las cubiertas forestales y las dinámicas de deforestación, los que deben ser medidos, monitoreados y reportados regularmente (Programa ONU-REDD, 2015).

Los estudios de captura y flujo de C se basan en la estimación de la biomasa vegetal (Chávez Pascual *et al.*, 2017). La biomasa aérea desempeña un papel importante en el manejo sostenible de los recursos forestales y en la cuantificación de los almacenes de dióxido de carbono (CO_2) (Zhang *et al.*, 2017). Cabe destacar que la biomasa subte-

rránea también representa un importante reservorio de C, pudiéndose estimar a partir de valores de proporción entre la biomasa aérea y la radical, en base a muestreos en los que se extrae el sistema radical y se determina su biomasa o bien por valores de referencia de las Guías del IPCC (2006) u otras fuentes.

La biomasa arbórea puede ser estimada mediante modelos alométricos de biomasa o volumen, obtenidos por medio de análisis de regresión entre datos de biomasa o volumen obtenidos por el método destructivo y las variables alométricas colectadas en inventarios forestales (Andrade *et al.*, 2014). Los modelos de estimación de biomasa deben ser específicos para cada especie y cada parte del árbol (Schlegel 2001; Risio Allione *et al.*, 2012), siendo en la actualidad escasos para bosques xerofíticos y semixerofíticos (León de la Luz *et al.*, 2005).

Cuando se requiere evaluar la biomasa y el C con información de inventarios forestales, se puede recurrir a los factores de expansión de la biomasa (FEB), los que permiten cuantificar la biomasa total aérea de un bosque mediante los volúmenes comerciales estimados al conocer la proporción de biomasa total aérea por unidad de volumen comercial (Návar-Cháidez, 2009).

Prosopis nigra (Griseb.) Hieron. (algarrobo negro), es una especie arbórea nativa de la familia Fabaceae, característica de los bosques semixerofíticos del Espinal y de otras formaciones boscosas como el Chaco semiárido (Argentina). Esta especie ha sido y es utilizada por los pueblos originarios en múltiples usos tales como forrajero, medicinal, tintóreo y madera. En carpintería, se destaca por su madera dura y pesada. Es además una especie melífera y productora de frutos forrajeros y comestibles (Giménez y Moglia, 2003). En áreas representativas del Espinal entrerriano (Dptos. Federal, La Paz y Paraná), Ledesma *et al.* (2007) determinaron que la densidad de *P. nigra* aportó entre 16

y 38% a la densidad arbórea total. Por su parte, Sabattini *et al.* (2016) reportan que los bosques dominados por *P. affinis* Spreng. y *P. nigra* resultaron los más frecuentes (59%) en un relevamiento de bosques nativos realizado a nivel de cuenca en el departamento de La Paz.

La estimación del C almacenado en la biomasa arbórea requiere de modelos locales y específicos para las especies dominantes de los bosques nativos. En la Argentina resultan escasos los estudios tendientes a obtener modelos de estimación de biomasa y FEB en especies arbóreas nativas. Conti *et al.* (2008) y Gaillard de Benítez *et al.* (2014) han obtenido modelos alométricos de estimación de biomasa para *P. nigra* en bosques de Santa Fe y de Santiago del Estero, respectivamente. Sin embargo, a la fecha, no se han desarrollado ecuaciones de estimación de la biomasa de esta especie para Entre Ríos ni estudios para la determinación de FEB.

Los objetivos de este trabajo fueron: determinar la biomasa aérea y su distribución por compartimento en individuos de *P. nigra*, estimar los FEB por clase diamétrica y obtener ecuaciones alométricas de biomasa aérea individual, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina).

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en el área de bosques de Entre Ríos, correspondiente a la provincia fitogeográfica del Espinal, Distrito del Ñandubay (Cabrera, 1976). El clima es húmedo de llanura, con una amplitud térmica de 13 °C y una media diaria anual de 18,5 °C. Los bosques semixerófilos dominados por ñandubay (*P. affinis*) y espinillo (*Vachellia caven* Mol. Molina), frecuentemente acompañados por el algarrobo negro (*P. nigra*), el algarrobo blanco (*P. alba* Griseb.) y el tala (*Celtis tala* Gillies ex Planch.), constituyen el bioma característico. La zona presenta una amplia

diversidad de suelos correspondientes a los órdenes Vertisoles, Molisoles y Alfisoles. El 69% de la superficie de los suelos pertenecen al orden Vertisol (Plan Mapa de Suelos, 1997). La heterogeneidad fisonómico-estructural y florística que presentan estos bosques se atribuye a las condiciones ecológicas y la historia de uso y manejo al que han sido sometidos, siendo destinados tradicionalmente a la cría y recría de ganado vacuno.

El estudio se desarrolló en el departamento Paraná (Entre Ríos), en un área de 50 ha que corresponde a un rodal mixto multietáneo. El sitio de estudio está destinado a la actividad ganadera de cría y recría vacuna con un mismo manejo productivo desde hace más de 25 años. Los suelos corresponden a Hapludertes típicos, caracterizados por un horizonte argílico (con predominio de arcillas montmorilloníticas) de permeabilidad lenta. En este sitio, la comunidad clímax es un bosque bajo (estrato arbóreo inferior a los 6 m de altura) de *P. affinis* y *V. caven*, acompañados de *P. nigra* y *C. tala*. La densidad arbórea promedio es de 1112 individuos ha⁻¹.

Recolección de datos

Córdoba y Verga (2008) afirman que de la simple observación de campo, en sitios donde entran en contacto distintas especies afines de *Prosopis*, aparecen individuos de morfología intermedia cuyo origen híbrido se ha podido comprobar. Diversos autores han reportado la existencia de híbridos entre *P. nigra* y *P. affinis*, y entre *P. nigra* y *P. alba*, que estarían ocupando una posición intermedia en la mayoría de los caracteres morfológicos (Hunziker et al., 1986; Palacios y Brizuela, 2005). Por este motivo, la selección de individuos de *P. nigra* en el presente estudio se realizó teniendo en cuenta sus características morfológicas y fisonómicas, evitando el muestreo de individuos con morfología intermedia que indicarían la presencia de un híbrido. Además, se consideraron los siguientes criterios: posi-

ción social (árboles dominantes), calidad del fuste (sin deformaciones), copa bien desarrollada y vitalidad (árboles sanos y vigorosos). Se seleccionaron en el rodal evaluado aleatoriamente 30 individuos de *P. nigra* según lo recomendado por Segura y Andrade (2008), distribuidos en siete clases diamétricas: 5,0-9,9; 10,0-14,9; 15,0-19,9; 20,0-24,9; 25,0-29,9; 30,0-34,9 y ≥ 35 cm de diámetro del tronco a 15 cm desde el nivel del suelo (d_{15}), seleccionando un número de individuos proporcional a la frecuencia relativa de cada clase diamétrica. Los tamaños de plantas seleccionadas representan el rango de tamaños de individuos encontrados en la región de estudio.

La biomasa se cuantificó por el método destructivo en febrero-marzo de 2019, coincidente con la etapa fisiológica de máxima expresión del follaje de la especie. En cada individuo seleccionado, previo al corte, se midieron las siguientes variables dasométricas: diámetro del tronco a 15 cm desde el nivel del suelo (d_{15}); a 30 cm (d_{30}); a la altura del pecho (a 1,30 m de altura) (DAP); altura del fuste (hf) tomado desde el nivel del suelo hasta la primera bifurcación; altura total (h); diámetro mayor de copa (Dc) y su perpendicular (diámetro menor de copa, dc). Para la medición de diámetros se utilizó una forcípula Mantax, efectuándose dos mediciones en forma perpendicular. La altura de los individuos fue determinada con vara telescópica. Se calculó además el área basal (AB) y el área de copa, ac, como $\pi (Dc+dc)^2/4$.

Los árboles fueron cortados a ras del suelo, y se procedió a la separación de la biomasa en tres compartimentos: fuste (f) considerado desde la base del tronco hasta la primera ramificación importante; ramas grandes (rg) de diámetro > 5 cm; y ramas pequeñas (de diámetro ≤ 5 cm) + hojas, flores y frutos (rph). La biomasa húmeda de cada compartimento se midió en el campo, pesando el material fresco con una balanza

de gancho de 300 kg (resolución 100 g). Para la determinación de materia seca se extrajeron alícuotas o submuestras. Del fuste se seleccionaron tres rodajas de 5 cm de espesor (basal, central y superior); de las ramas grandes se tomaron cinco rodajas de diferente diámetro; y de la fracción ramas pequeñas + hojas, flores y frutos, otras tres alícuotas de ~ 250 g. Las alícuotas fueron pesadas a campo con una balanza de precisión y llevadas a estufa a 105° C hasta peso constante para determinar el contenido promedio de humedad de cada compartimento, y afectarlo a la biomasa húmeda para calcular la materia seca de cada uno.

La biomasa aérea total de cada individuo (Bt) fue calculada como la suma de la materia seca de todos los compartimentos (Bf, Brg, Brph). Posteriormente, se determinó la distribución porcentual de la biomasa aérea por compartimento dentro de cada individuo, calculándose como el cociente entre la biomasa de cada compartimento y la biomasa total individual. Los valores de FEB se estimaron como el cociente entre Bt y Bf, expresadas como kg de biomasa seca por individuo. Finalmente, se calculó el valor medio de FEB y los valores correspondientes a cada clase diamétrica.

Análisis estadístico

Se verificó la normalidad (test de Shapiro-Wilk) y la homogeneidad de las varianzas de los datos. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar la variación en los valores de FEB entre clases diamétricas y se utilizó una prueba de Fisher ($\alpha = 0,05$) para verificar la existencia de diferencias significativas en FEB y en la contribución de cada compartimento a la biomasa total individual, entre clases diamétricas.

Con el fin de desarrollar modelos alométricos simples y prácticos, y de encontrar la mejor variable predictora de la biomasa arbórea, se evaluaron y ajustaron 8 modelos

genéricos (Loetsch *et al.*, 1973; Cuadro 1) de frecuente utilización en especies leñosas perennes. Adicionalmente, se construyeron modelos utilizando como variables independientes a aquellas que demostraron alta correlación con la biomasa y que no estaban incluidas en los modelos genéricos ajustados. Para la construcción de los nuevos modelos alométricos, se consideró a d_{15} , d_{30} , DAP, h, hf y ac como variables independientes, y a Bt, Bf, Brg y Brph como variables dependientes. Basado en el análisis de la normalidad, la independencia y la homogeneidad de las varianzas de estas variables, se decidió utilizar transformaciones (logaritmos naturales). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre los valores de biomasa (Bt, Bf, Brg y Brph) y las variables predictoras, para identificar la capacidad de estas últimas para explicar la biomasa. Las variables predictoras seleccionadas fueron aquellas con mayor coeficiente de correlación con las variables dependientes. Posteriormente, se realizaron análisis de regresión lineal con y sin transformaciones logarítmicas de la variable dependiente y las independientes mediante el método de mínimos cuadrados. Utilizando los módulos de regresión lineal simple y múltiple de Statgraphics Centurion XVI® versión 16.1 (StatPoint Technologies

Cuadro 1. Modelos genéricos ajustados para estimar la biomasa aérea total de individuos de *Prosopis nigra*, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). B: biomasa total (kg árbol⁻¹); DAP: diámetro del tronco a la altura del pecho (a 1,30 m de altura) (cm); h: altura total (m).

Autor	Modelo
Berkhout	$B = a + b \cdot DAP$
Kopecky	$B = a + b \cdot DAP^2$
Hohenadl – Krenn	$B = a + b \cdot DAP + c \cdot DAP^2$
Husch	$\ln B = a + b \cdot \ln DAP$
Spurr	$B = a + b \cdot DAP^2 \cdot h$
Stoate	$B = a + b \cdot DAP^2 + c \cdot DAP^2 \cdot h + d \cdot h$
Meyer	$B = a + b \cdot DAP^2 + c \cdot DAP \cdot h + d \cdot DAP^2 \cdot h$
Schumacher-Hall	$\ln B = a + b \cdot \ln DAP + c \cdot \ln h$

Inc., 2010), se generaron funciones de regresión predictiva para cada una de las variables dependientes. Las variables que presentaron bajos coeficientes de correlación con la biomasa fueron descartadas, sin evaluarse su participación en la evaluación de los modelos.

La selección de los mejores modelos se efectuó siguiendo el criterio de Andrade et al. (2014): mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj.), menor error cuadrático medio de predicción (ECMP), menor valor de los Criterios de Información de Akaike (AIC) y Bayesiano de Información (BIC), y menor valor del Índice de Furnival (IF) (Furnival, 1961). Cada uno de los indicadores de bondad fue calificado de mejor a peor en cada modelo obtenido, siendo el mejor modelo el que tiene la mejor calificación combinada de esos criterios (Andrade et al., 2014). De la misma forma, se realizó un análisis de estimados vs observados y de residuos para los modelos seleccionados. Los análisis estadísticos fueron realizados empleando el software Statgraphics Centurion XVI® (version 16.1) (StatPoint Technologies Inc., 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que, tanto la participación relativa de los diferentes compartimentos en la biomasa total, como los valores de FEB determinados para *P. nigra*, varían según la clase diamétrica. Asimismo, las ecuaciones obtenidas permiten realizar estimaciones muy precisas de la biomasa total y por compartimento a partir de variables dasométricas de la especie evaluada.

Biomasa aérea individual y su distribución por compartimento

La biomasa aérea determinada varió entre 5,07 y 654,11 kg árbol⁻¹. En promedio, la mayor acumulación de biomasa se concentró en la fracción integrada por ramas

pequeñas+ hojas + flores+ frutos (38,02 ± 9,95%), la que resultó estadísticamente similar a la fracción de las ramas grandes (36,09 ± 17,42%).

El fuste participó en promedio con 27,26 ± 12,83%. Sione et al. (2019) determinaron que *P. affinis* y *V. caven* también invierten la mayor parte de los recursos en el desarrollo de las ramas menores, hojas y frutos (41,90% y 52,80%, respectivamente).

En *P. affinis*, el fuste participó en promedio con el 32,80%, valor que resultó inferior para *V. caven* (24,13%). Coincidentemente, en otra especie de *Prosopis* (*P. caldenia* Burkart.), Risio Allione et al. (2012) encontraron una mayor cantidad de biomasa almacenada en la copa, seguido por el fuste (46,35 y 19%, respectivamente).

La partición de la biomasa resultó diferente en función de la clase diamétrica (Figura 1). La participación de rg en la biomasa total presentó una tendencia lineal positiva ($R^2 = 0,74$), ante incrementos de d_{15} , mientras que la contribución de rph y f resultó menor en individuos de mayor diámetro ($R^2 = 0,50$ y $0,60$, respectivamente). La participación del fuste resultó significativamente diferente ($p=0,0005$; CV= 32,42%) entre clases diamétricas (Figura 1), siendo superior en individuos de menor d_{15} . La participación relativa de rg mostró diferencias significativas ($p<0,0001$) entre clases diamétricas y un coeficiente de variación de 22,56 %. Respecto a la fracción rph, se encontraron diferencias estadísticas ($p= 0,0015$) entre clases, resultando la fracción con menor CV (19,07%). Individuos de pequeños diámetros (5,0 - 9,9 cm) presentaron valores medios significativamente mayores que el resto de las clases (Figura 1).

Factores de expansión de la biomasa (FEB)

Los FEB promedios por clase diamétrica variaron de 2,50 a 10,48 (Cuadro 2), y evi-

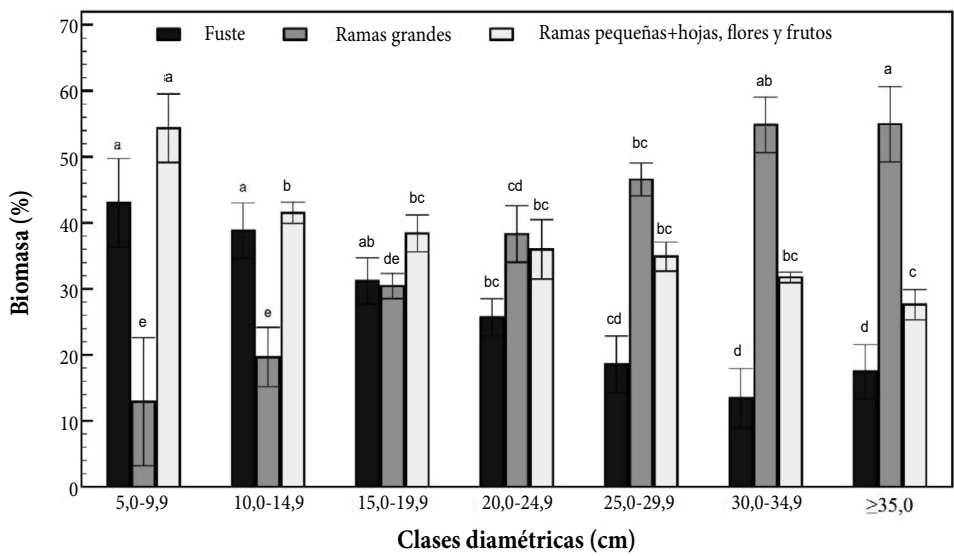


Figura 1. Participación relativa (%) de los diferentes compartimentos (fuste, ramas grandes y ramas pequeñas+ hojas, flores y frutos) en la biomasa total de individuos de *Prosopis nigra* según las distintas clases diamétricas (cm) en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). Se muestran las medias y su correspondiente error estándar (n= 4-6) de la biomasa estimada para cada una de las fracciones de cada clase diamétrica. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fischer $n=0,05$) entre clases diamétricas, dentro de cada compartimento de biomasa.

denciaron diferencias significativas entre clases ($p=0,0063$). Los menores valores correspondieron a individuos de 5,0-9,9 cm de diámetro, resultando significativamente inferior que el resto de las clases diamétricas (Cuadro 2).

Las diferencias estadísticas observadas en el Cuadro 2 justifican presentar valores pro-

medios de FEB para dos clases diamétricas de mayor amplitud (5,0-24,9 y ≥ 25). De este análisis surgen valores de FEB promedios de $3,29 \pm 1,09$ (para la clase 5,0-24,9) y de $7,91 \pm 4,64$ (para la clase ≥ 25).

La utilidad de los FEB deriva de la posibilidad de transformar los datos de volumen (obtenidos en inventarios forestales) a biomasa,

Cuadro 2. Factores de expansión de la biomasa (FEB) de *Prosopis nigra* por clase diamétrica en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). Se muestran las medias de los FEB estimados para cada clase diamétrica, con su correspondiente error estándar (EE) e intervalo de confianza. Letras distintas indican diferencias significativas entre clases diamétricas al 5% (Test de Fischer).

Clase diamétrica (cm)	Factor de Expansión de la biomasa (FEB)		
	Media	EE	Intervalo de confianza (95%)
5,0 - 9,9	2,50 a	1,43	0,42 - 4,59
10,0 - 14,9	2,66 a	1,43	0,57 - 4,75
15,0 - 19,9	3,40 a	1,28	1,53 - 5,26
20,0 - 24,9	4,14 a	1,16	2,44 - 5,85
25,0 - 29,9	6,49 ab	1,43	4,40 - 8,58
30,0 - 34,9	10,48 b	1,43	8,39 - 12,56
≥35	6,40 ab	1,65	3,99 - 8,81

para lo cual se requiere conocer la densidad de madera, que para *P. nigra* es de 0,81 g cm⁻³ (Richter & Dallwitz, 2000).

Los valores de FEB reportados en la bibliografía para diferentes especies son muy variables. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ha establecido valores de este parámetro por defecto, sugiriendo para especies de hoja ancha de bosques templados, FEB comprendidos entre 1,15 y 3,2 (IPCC, 2014). Cabe destacar que no se han encontrado en la literatura reportes de valores de FEB para especies similares a la evaluada en este estudio.

Silva y Návar (2010) y Chávez-Pascual et al. (2017) indican que los FEB dependen de las dimensiones del árbol, tales como el diámetro y la altura. Los altos valores determinados en este estudio para los individuos de *P. nigra* de mayores diámetros obedecen a la fisonomía de la especie, caracterizada por una menor participación del fuste en individuos de mayores diámetros y un mayor crecimiento relativo de la copa respecto al fuste, comportamiento también observado en *P. affinis* y en *V. caven*, especies de la misma familia. En *P. affinis* (Sione et al., 2019) y en *V. caven* (Sione et al., com. pers.) se observaron valores de FEB similares y con una tendencia de cambios de las proporciones de biomasa comparables con los del presente estudio, al igual que se observa en los resul-

tados de distribución de biomasa encontrados en *P. caldenia* por Risio Allione et al. (2012).

Correlación entre la biomasa aérea (total y por compartimento) y las variables dasométricas

La biomasa total fue la mejor explicada por las variables independientes estudiadas, mientras que Bf arrojó menor correlación (Cuadro 3), estando la primera altamente correlacionada con d₁₅, d₃₀, DAP, ac y AB (0,95 < r < 0,96; p < 0,01), moderadamente con h y baja con hf (Cuadro 3). En *P. affinis* (Sione et al., 2019) y en *V. caven* (Sione, com. pers.) la biomasa aérea total también resultó altamente correlacionada con d₁₅, d₃₀, DAP y ac y moderadamente con h, en coincidencia con lo observado en el presente estudio.

La correlación entre la biomasa (total y por compartimento) fue mayor con los diferentes diámetros (d₁₅, d₃₀ y DAP) que con el resto de las variables (Cuadro 3), en coincidencia con lo reportado por Gaillard de Benítez et al. (2014) para la misma especie en bosques del Parque Chaqueño Seco. Estos autores observaron una alta correlación entre la altura total y la biomasa, mientras que no encontraron esa asociación con la hf. En el presente trabajo, hf también mostró una baja correlación con la biomasa, lo que podría indicar la variabilidad de valores de esta variable en individuos de diámetro similar. En otras investigaciones se ha demostrado que la biomasa total

Cuadro 3. Correlaciones (Coeficiente r de Pearson) entre la biomasa aérea total (Bt) y por compartimento; y variables dasométricas de individuos de *Prosopis nigra* (n=30) en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). d₁₅ y d₃₀, diámetro del tronco a 15 y 30 cm desde el nivel del suelo, respectivamente (cm); DAP: diámetro del tronco a la altura del pecho (a 1,30 m de altura) (cm); h: altura total (m); hf: altura del fuste (m); ac: área de copa (m²); AB: área basal (m²); Bf: biomasa de fuste (kg árbol⁻¹); Brg: biomasa de ramas grandes (kg árbol⁻¹); Brph: biomasa de ramas pequeñas+hojas, flores y frutos (kg árbol⁻¹); Bt: biomasa aérea total (kg árbol⁻¹). Todos los valores del Coeficiente de Pearson superiores a 0,5 presentaron p < 0,01.

Biomasa (kg árbol ⁻¹)	d ₁₅	d ₃₀	DAP	h	hf	ac	AB
Bf	0,82	0,82	0,79	0,82	0,35	0,69	0,82
Brg	0,91	0,91	0,92	0,72	-0,28	0,93	0,91
Brph	0,93	0,94	0,95	0,76	-0,22	0,95	0,93
Bt	0,96	0,96	0,96	0,79	-0,17	0,95	0,96

se estima de forma más precisa midiendo los compartimentos por separado (Cuenca *et al.*, 2014; Montoya Jiménez *et al.*, 2018).

Ecuaciones alométricas de biomasa aérea individual

En el Cuadro 4 se muestran las ecuaciones seleccionadas por su bondad de ajuste para estimar la biomasa aérea total y por compartimento en individuos de *P. nigra*. Todos los modelos fueron de ajuste lineal y sus parámetros resultaron significativos ($P < 0,05$). En general, las ecuaciones seleccionadas mostraron un $R^2 \text{ aj.} \geq 0,87$.

Las funciones para estimar la biomasa total expresada en forma logarítmica (Ln Bt) tuvieron un $R^2 \text{ aj.} \geq 0,98$. El modelo alométrico que presentó mejor ajuste fue el basado en Ln (DAP²*h) y en el Ln (d₃₀), el que explicó el 99% de la variabilidad en Ln (Bt), y arrojó parámetros significativos ($p < 0,008$) (Cuadro 4; Figura 2). Por otra parte, de los mode-

los que incluyen una sola variable independiente, el de mejor ajuste resultó el que utiliza Ln (DAP). Esta última función resulta de mayor practicidad dado que el DAP es siempre medido en los inventarios forestales.

Los modelos de mejor ajuste para estimar la biomasa de fuste presentaron coeficientes $R^2 \text{ aj.} \geq 0,87$ (Cuadro 4). La biomasa de este compartimento resultó mejor explicada por el DAP y el Ln (DAP²*h), modelo que explica el 92% de la variabilidad en Ln Bf (Figura 2). Respecto a Brg, la función alométrica que mejor explica la variabilidad de Ln (Brg) tiene como variable independiente a la altura y al Ln (DAP²*h), siendo sus parámetros significativos, con $p < 0,005$ (Cuadro 4; Figura 2). La ecuación de mayor bondad de ajuste para estimar Brph (Cuadro 4) tiene como variable independiente al Ln (ac) y al Ln (d₃₀). En este modelo sus parámetros son significativos ($p < 0,0008$).

Cuadro 4. Modelos de mejor ajuste, y sus estadígrafos, para la estimación de la biomasa aérea total y por compartimento en individuos de *Prosopis nigra* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). Bf: biomasa de fuste (kg árbol⁻¹); Brg: biomasa de ramas grandes (kg árbol⁻¹); Brph: biomasa de ramas pequeñas+hojas+flores+frutos (kg árbol⁻¹); Bt: biomasa total arriba del suelo (kg árbol⁻¹); d₁₅ y d₃₀: diámetro del tronco a 15 y 30 cm desde el suelo, respectivamente (cm); DAP: diámetro del tronco a la altura del pecho (cm); ac: área de copa (m²); R²aj.: R² ajustado; CME: cuadrado medio del error; ECMP: error cuadrático medio de predicción; PRESS: suma de cuadrados de los residuos de los predichos; AIC: Criterio de Información de Akaike; BIC: Criterio Bayesiano de información; IF: Índice de Furnival.

Biomasa (kg árbol ⁻¹)	Modelo	R ² aj.	CME	ECMP	PRESS	AIC	BIC	IF
Fuste	Ln(Bf) = -4,32 - 0,07*DAP + 1,20*Ln(DAP ² *h)	0,92	0,09	0,11	9061	18,5	24,1	7,9
	Ln(Bf) = -1,92 + 0,24*h + 1,26*Ln(d ₃₀)	0,89	0,12	0,15	6457	26,9	32,5	9,2
	Ln(Bf) = -2,12 + 1,85*Ln(d ₃₀)	0,87	0,15	0,18	9783,8	32,53	36,73	10,2
Ramas grandes	Ln(Brg) = -7,64 - 0,30*h + 1,74*Ln(DAP ² *h)	0,96	0,10	0,13	36695	19,9	25,1	11,3
	Ln(Brg) = -6,30 + 3,45*Ln(DAP)	0,96	0,10	0,12	45928	18,2	22,1	11,3
	Ln(Brg) = -10,32 - 0,08*d ₃₀ + 5,34*Ln(d ₃₀)	0,96	0,10	0,13	45029	18,9	24,0	11,3
Ramas pequeñas+ hojas, flores y frutos	Ln(Brph) = -2,32 + 1,60*Ln(d ₃₀) + 0,43* Ln(ac)	0,97	0,04	0,05	9319,0	-6,86	-1,26	2,6
	Ln(Brph) = -2,03 + 1,54*Ln(DAP) + 0,42* Ln(ac)	0,97	0,04	0,06	8268,4	-4,87	0,73	2,6
	Ln(Brph) = -2,85 + 2,25*Ln(d ₃₀)	0,96	0,06	0,07	9827	4,3	8,5	10,0
Aérea total	Ln(Bt) = -2,96 + 0,45*Ln(DAP ² *h) + 1,46*Ln(d ₃₀)	0,99	0,02	0,03	39162	-21,9	-16,3	15,7
	Ln(Bt) = -3,16 + 1,16*Ln(DAP ² *h) - 0,13*h	0,98	0,03	0,04	37267	-16,2	-10,6	19,2
	Ln(Bt) = -2,40 + 2,49*Ln(DAP)	0,98	0,03	0,04	40668	-15,9	-11,7	19,2
	Ln(Bt) = -2,86 + 2,60*Ln(d ₃₀)	0,98	0,03	0,04	44060	-15,9	-11,7	19,2
	Ln(Bt) = -3 + 1,03*Ln(DAP ² *h)	0,98	0,03	0,04	53889	-11,6	-7,4	19,2

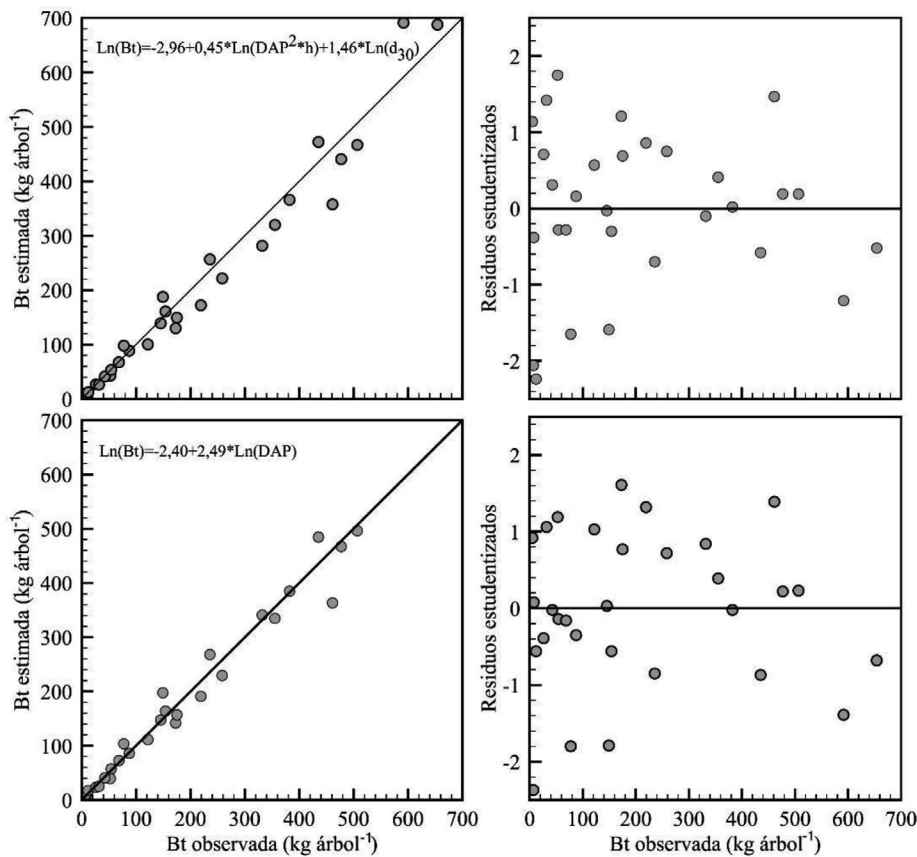


Figura 2. Ecuaciones alométricas de biomasa aérea total de individuos de *Prosopis nigra* basados en $DAP^{2 \cdot h}$ y d_{30} , y en DAP (izquierda), con sus correspondientes gráficos de residuos (a la derecha). Cada punto representa una observación individual ($n=30$). Bt: biomasa aérea total (kg árbol⁻¹); DAP: diámetro a la altura del pecho (cm); h: altura total (m); d_{30} : diámetro basal a 0,30 m desde el nivel del suelo (cm).

Las variables relacionadas al diámetro (DAP, d_{15} y d_{30}) resultaron las mejores predictoras de la biomasa de cada compartimento. Sin embargo, según su operatividad resulta de mayor utilidad los modelos basados en DAP. Por su parte, la altura total quedó incluida en los mejores modelos de estimación de Bf y Brg, sin embargo no resulta buena predictora de Brph. Esto coincide con los modelos obtenidos para la estimación de la biomasa de *P. affinis* (Sione et al., 2019) y de *V. caven* (Sione; com. pers.) en bosques nativos del Espinal.

La comparación de los modelos de mejor ajuste obtenidos en este estudio con otros reportados en la literatura para *P. nigra* permite inferir la similitud de los sitios estudiados y el

alcance de su aplicabilidad, posibilitando la construcción de funciones regionales más amplias para la especie, o por el contrario, concluir sobre la importancia de utilizar funciones específicas para cada región fitogeográfica. Al respecto, en bosques del Parque Chaqueño Seco, Gaillard de Benítez et al. (2014) desarrollaron modelos en los que el DAP fue incluido como variable explicativa en las regresiones simples por ser la variable de mayor correlación con la biomasa, ajustándose a un polinomio de segundo orden, a la vez que la variable $DAP^{2 \cdot h}$ resultó también muy buena predictora de la biomasa total, en coincidencia con las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo. Por su parte, en el Espinal

santafesino (Distrito del Algarrobo), Conti *et al.* (2008) determinaron que el diámetro a la altura de la base resultó ser el mejor estimador del volumen económico y del volumen aéreo individual, coincidiendo con nuestro trabajo, en el que el modelo basado en Ln (d_{30}) también resultó de muy buen ajuste, resultando de gran practicidad para su aplicación en individuos de troncos bifurcados por debajo de 1,30 m.

En la Figura 3 se representan los valores de Bt estimados vs. los observados por dos de los mejores modelos obtenidos en el presente estudio y los estimados por las funciones propuestas en la literatura para el Parque Chaqueño Seco y para el Espinal santafesino. Se observa que estas dos últimas funciones sobrestiman los valores de Bt de individuos de *P. nigra* que se desarrollan en bosques nativos de nuestra región. De este análisis comparativo se ratifica la importancia de utilizar funciones específicas para cada provincia fitogeográfica, e incluso para cada distrito fitogeográfico (tal el caso de los Distritos del Nandubay y del Algarrobo, ambos pertenecientes al Espinal).

En el Espinal entrerriano, Sione *et al.* (2019) desarrollaron modelos para la estimación de la biomasa de individuos de *P. affinis*, resultando de mejor ajuste aquellas funciones basadas en Ln (DAP), ac y Ln (h). También los modelos basados en d_{15} y d_{30} resultaron de muy buen ajuste para *P. affinis*. Los modelos obtenidos en el presente trabajo no incluyen al ac como variable regresora de la biomasa total.

En otras regiones forestales argentinas se han desarrollado modelos para otras especies de *Prosopis*. En el Chaco Árido argentino, Iglesias y Barchuk (2010) obtuvieron funciones de estimación de la biomasa para *Prosopis flexuosa* DC. y *Prosopis torquata* (Cav. ex Lag.) DC., siendo los de mayor ajuste aquellos que utilizan el cuadrado del diámetro a la base. Por su parte, Risio Allione *et al.* (2012) determinaron funciones para estimar la biomasa de *P. caldenia* en bosques nativos de la Pampa semiárida, seleccionando como mejores variables predictoras el área basimétrica y la altura total de los individuos.

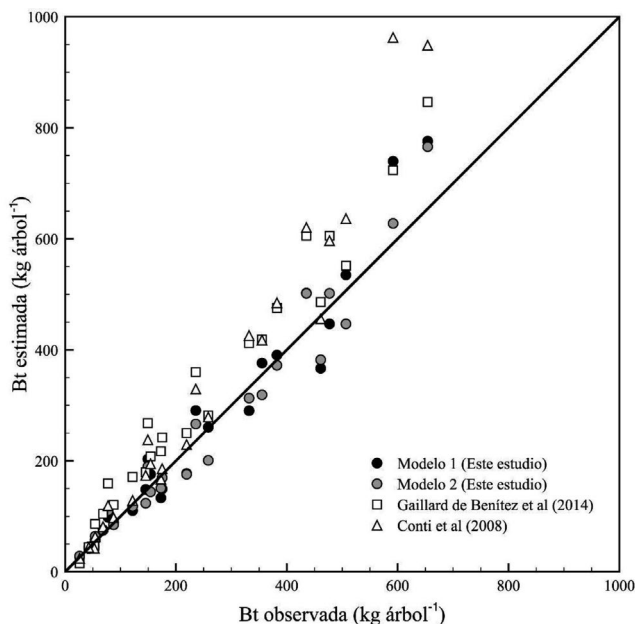


Figura 3. Comparación entre las estimaciones de biomasa total (Bt) en *Prosopis nigra* obtenidas a partir de diferentes modelos. Se muestra la biomasa estimada (kg árbol^{-1}) vs. la observada (kg árbol^{-1}), a partir de 4 modelos: Modelo 1 (este estudio): $\text{Ln (Bt)} = -2,96 + 0,45 \cdot \text{Ln (DAP}^2 \cdot h) + 1,46 \cdot \text{Ln (d}_{30})$; Modelo 2 (este estudio): $\text{Ln (Bt)} = -2,40 + 2,49 \cdot \text{Ln (DAP)}$; Gaillard de Benítez *et al.* (2014): $\text{Bt} = -97,97 + 6,28 \cdot \text{DAP} + 0,49 \cdot \text{DAP}^2$; Conti *et al.* (2008): $V = 0,05 \cdot d_{15}^{2,78}$, siendo V: volumen aéreo (dm^3).

CONCLUSIONES

Las ecuaciones de mejor ajuste propuestas en este trabajo para estimar la biomasa aérea total de *P. nigra* tienen como predictoras a la variable combinada $DAP^{2*}h$, el diámetro basal y la altura; fueron estadísticamente significativas y con ajustes superiores al 98%. Tanto el DAP como d_{30} fueron incluidos como variables explicativas en las regresiones simples por ser las variables de mayor correlación con la biomasa total. Sin embargo, por su practicidad y operatividad se recomienda utilizar la función $\ln(Bt) = -2,40 + 2,49*\ln(DAP)$, dado que el DAP es una variable que se incluye en todos los inventarios forestales, a la vez que resulta de medición sencilla y precisa. La comparación de estos modelos con otros publicados para la misma especie que generan estimaciones menos precisas ratifica la importancia de generar funciones específicas para cada provincia fitogeográfica, a fin de aportar precisión a las estimaciones de biomasa y C.

En cuanto al FEB, el promedio estimado para *P. nigra* fue de 4,98, siendo significativamente mayor a los valores por defecto sugeridos por el IPCC para especies de hoja an-

cha de bosques templados. Por otra parte, el análisis por clase diamétrica justifica discriminar valores de FEB en dos clases amplias: 3,29 para la clase 5,0-24,9 y 7,91 para la clase ≥ 25 .

Finalmente, este estudio aporta herramientas sólidas y confiables para evaluar el servicio de captura y fijación de C de los bosques nativos del Espinal y la potencial reducción de emisiones por deforestación evitada, en el marco del cumplimiento de la meta establecida por Argentina en su Contribución Nacional Determinada y en el planteo de alternativas de intervención a ser abordados en la estrategia de REDD+.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco del PID UNER 2182 "Stock de carbono en especies arbóreas del Espinal entrerriano" y del PID UNER 2223 "Captura y fijación de carbono como servicio ambiental de los bosques nativos del Espinal", financiados por la UNER. Nuestro agradecimiento a C. Rausch y L. Rausch por la colaboración en actividades de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, H.J., Segura, M.A. y Forero, L.A. (2014). *Desarrollo de modelos alométricos para volumen de madera, biomasa y carbono en especies leñosas perennes: conceptos básicos, métodos y procedimientos*. Ibagué, Colombia: Sello Editorial Universidad del Tolima.
- Cabrera, A.L. (1976). *Regiones fitogeográficas argentinas*. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. (2^{da}. ed). Buenos Aires, Argentina: ACME. S.A.C.I.
- Chávez-Pascual, E.Y., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez del Valle, J.R., Velasco-Velasco, V.A. y Gómez-Cárdenas, M. (2017). Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus oaxacana* bajo tratamientos silvícolas. *Madera y Bosques*, 23 (3), 147-161.
- Conti, G., Coirini, R. y Zapata, R. (2008). Funciones de Estimación de Volumen de *P. nigra* var. *ragonensei* (algarrobo amarillo) en un Bosque del Espinal Santafesino. *Ciencia*, 3 (7), 39-51.
- Córdoba, A. y Verga, A. (2008). Método de análisis fenológico de un rodal. Su aplicación en un enjambre híbrido de *Prosopis* spp. *Ciencia e Investigación Forestal - Instituto Forestal Chile*, 14 (1), 92-109.
- Cuellar, J. y Salazar, E. (2016). *Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA.
- Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K. y Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas. *Amazonía Ecuatoriana*, 4 (1), 21-31.
- Gaillard de Benítez, C., Pece, M., Juárez de Galíndez, M. y Acosta, V.H. (2014). Modelaje de la biomasa aérea individual y otras relaciones dendrométricas de *Prosopis nigra* Gris. en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho*, 22 (1,2), 17-29.

- Giménez, A. y Moglia, J. (2003). Árboles del Chaco. Guía de reconocimiento dendrológico. Santiago del Estero, Argentina: Editorial Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Desarrollo Social de la Nación.
- Hunziker, J., Saidman, B., Naranjo, C., Palacios, R., Poggio, L. and Burghardt, A. (1986). Hybridization and genetic variation of Argentine species of *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). *Forest Ecology and Management*, 16, 301-315.
- Iglesias, M. y Barchuk, A.H. (2010). Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral*, 20, 71-79.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra*. Recuperado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Ledesma, S.G., Muracciole, B., Dorsch, A.F., Sabattini, R.A., Cottani, F., Sione, S.M. y Fortini, C. (2007). Caracterización estructural de montes nativos de Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, 11(2), 129-139.
- León de la Luz, J.L., Domínguez, R. & Díaz Castro, S. (2005). Evaluación de un análisis dimensional para predecir peso fresco del leño en dos especies de mezquite, *Prosopis articulata* S. Watson y *P. palmeri* S. Watson. *Acta Botánica Mexicana*, 72, 1732-1742.
- Loetsch, F., Zohrer, F. and Haller, K.E. (1973). *Forest inventory*. Munich, Alemania: BLV Verlagsgesellschaft.
- Montoya Jiménez, J.C., Méndez González, J., Sosa Díaz, L., Ruíz González, C.G., Zermeño González, A., Nájera Luna, J.A., Manzano camarillo, M.G., Velázquez Rodríguez, A.S. (2018). Ecuaciones de biomasa aérea y volumen para *Pinus halepensis* Mill., en Coahuila, México. *Madera y Bosques*, 24 núm. especial, e2401880. doi:10.21829/myb.2018.2401880
- Návar-Cháidez, J.J. (2009). Allometric equations and expansion factors for tropical dry trees of eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 45-52.
- Palacios, R. y Brizuela, M. (2005). *Prosopis*: historia y elementos para su domesticación. *Agrociencia*, 9, 41-51.
- Pardos, J.A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación.
- Plan Mapa de Suelos, Convenio INTAGobierno de Entre Ríos (1997). Área de Jurisdicción de la Aldea Santa María, Departamento Paraná, Provincia de Entre Ríos. EEA Paraná. Paraná, Argentina: Serie Relevamiento de Recursos Naturales.
- Programa Nacional ONU-REDD (2019). *Nivel de referencia de emisiones forestales de la República Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable República Argentina*. Recuperado de https://redd.unfccc.int/files/2019_submission_frel_argentina.pdf
- Richter, H. and Dallwitz, M. (2000). *Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval*. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 9th April 2019. Disponible en: delta-in-tkey.com.
- Risio Allione, L., Bravo, F. y Bogino, S. (2012). Cuantificación de biomasa y carbono en bosques nativos de *Prosopis caldenia* (Burkhart) en la pampa semiárida argentina [en línea] Recuperado de: <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/1593/1/TFM-L%2043.pdf>
- Sabattini, R.A., Sione, S.M., Ledesma, S.G., Sabattini, J. y Wilson, M.G. (2016). Estimación de la pérdida de superficie de bosques nativos y tasa de deforestación en la Cuenca del Arroyo Estacas (Entre Ríos, Argentina). *Revista Científica Agropecuaria*, 20(1-2), 45-56.
- Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2001). *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. Santiago de Chile, Chile: Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D98I1076.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2019). *Monitoreo de la superficie de bosque nativo de la República Argentina. Regiones Forestales Parque Chaqueño, Yungas, Selva Paranaense, Bosque Andino Patagónico, Espinal y Monte*. Tomo I. Recuperado de: [file:///C:/Users/Silvana/AppData/Local/Temp/Rar\\$DIa0.501/Informe_Monitoreo_BN_2018_Tomo_I_edicion02dic2019_web.pdf](file:///C:/Users/Silvana/AppData/Local/Temp/Rar$DIa0.501/Informe_Monitoreo_BN_2018_Tomo_I_edicion02dic2019_web.pdf)
- Segura, M. y Andrade, H.J. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Revista Agroforestería de las Américas*, 46, 89-96.

- Silva, A.F. y Návar Chaidez, J.J. (2010). Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del Norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 55-62.
- Sione, S.M., Andrade-Castañeda, H.J., Ledesma, S.G., Rosenberger, L.J., Oszust, J.D., y Wilson, M.G. (2019). Aerial biomass allometric models for *Prosopis affinis* Spreng. in native forests of Argentina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23 (6), 467-473.
- StatPoint Technologies Inc. Statgraphics Centurion (2010). Warrenton: StatPoint Technologies Inc.
- Zhang, X., Cao, Q.V., Xiang, C., Duan, A. and Zhang, J. (2017). Predicting total and component biomass of Chinese fir using a forecast combination method. *Forest*, 10, 687-691. doi: 10.3832/for2243-010