

Stock de carbono en especies arbóreas del espinal entrerriano

Sione, S.M.^{1,2}; Ledesma, S.G.¹; Rosenberger, L.J.¹; Oszust, J.D.¹; Maciel, G.O.¹; Wilson, M.G.³; Andrade, H.J.⁴ y M.C. Sasal³

Autores: ¹Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta 11 km 10,5. 3101 - Oro Verde, Entre Ríos. ²CICyTTP-CONICET. Materi y España. 3105. Diamante, Entre Ríos. ³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Paraná. Ruta 11 km 12,5. 3101 - Oro Verde, Entre Ríos. ⁴Facultad de Ingeniería Agronómica - Universidad del Tolima. Barrio Santa Helena parte alta AA 546, Ibagué, Colombia.

Contacto: silvana.sione@fca.uner.edu.ar

Resumen

El objetivo fue estimar el stock de carbono (C) en la biomasa arbórea de los bosques nativos del Espinal y valorar el servicio ecosistémico que prestan como secuestradores de C ante escenarios de cambio climático. El estudio se desarrolló en el área de bosques nativos de Entre Ríos. Se cuantificó la biomasa arbórea aérea y la fracción de C por componente (fuste, ramas ≥ 5 cm de diámetro y < 5 cm) de las especies dominantes (*Prosopis affinis*, *Vachellia caven* y *P.nigra*). Se obtuvieron para cada especie, modelos alométricos de alta precisión y factores de expansión de la biomasa, que constituyen herramientas de utilidad para estimar el C almacenado en estos ecosistemas. Los bosques nativos del Espinal entrerriano almacenan en promedio en su biomasa arbórea aérea, un stock de $43,99 \pm 10,43$ tC/ha, que representan $161,44$ t CO₂/ha capturados de la atmósfera. Se estimó una tasa promedio de captura y fijación de C de $0,75 \pm 0,17$ tC/ha/año. Este valor indica que en promedio, 1 ha de bosque nativo secuestra $2,75$ t CO₂/año. La información generada permite valorar el servicio ambiental que brindan los bosques nativos del Espinal entrerriano como sumidero de C en un escenario de cambio climático, siendo prioritaria su protección contra la deforestación y degradación.

Palabras clave: stock de carbono - biomasa arbórea- variables alométricas - bosques nativos - Entre Ríos

Objetivos propuestos y cumplidos

General

Estimar el stock de carbono en especies arbóreas de bosques nativos del Espinal entrerriano, y valorar su importancia en el secuestro de carbono, como servicio ecosistémico que prestan estos sistemas ante el escenario de cambio climático.

Específicos

- Cuantificar el stock de C en las distintas fracciones de la biomasa aérea (arriba del suelo) arbórea (fuste, ramas ≥ 5 cm y < 5 cm), en individuos de *P. nigra*, *P. affinis* y *V. caven*.
- Estimar la fracción de carbono en la biomasa seca, por componente de biomasa y por especie.
- Cuantificar la biomasa aérea total de los individuos arbóreos.
- Desarrollar modelos de estimación de biomasa a partir de variables alométricas, para su aplicación en bosques nativos del Espinal entrerriano.
- Estimar las tasas de fijación de carbono de las especies arbóreas dominantes, a partir de información antecedente generada desde la Cátedra de Ecología de los Sistemas Agropecuarios FCA – UNER.

Marco teórico

A nivel mundial, los bosques constituyen una parte esencial de los mecanismos para reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y mitigar el cambio climático, dado la cantidad de carbono (C) que fijan y que representan el 90% del flujo anual de este elemento entre la atmósfera y la Tierra (FAO, 2015). El IPCC (2007) estima que los bosques tienen un potencial de mitigación de 2,7-13,8 Pg¹ CO₂ año⁻¹ por captura, lo que supone para el año 2050 una fijación y almacenamiento de 100 Pg C, que representa entre el 10% y el 20% de las emisiones de combustibles de origen fósil previstas para ese año. Frente a este escenario, el manejo sostenible de los bosques nativos y la creación de nuevas áreas forestales representan importantes acciones a seguir.

El cambio de uso de la tierra constituye una de las principales causas del cambio global (Cantero et al., 2013). En las últimas décadas, la degradación y conversión de los bosques a otro tipo de coberturas, ha contribuido significativamente al aumento de las emisiones de GEI (IPCC, 2007). A fines de 2015, la 21^a Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) consideró relevante el rol de la agricultura, la deforestación y los usos del suelo en las emisiones de GEI, responsables del 24% de las emisiones globales.

En la República Argentina, asociado al avance de la frontera agropecuaria, se ha producido una significativa reducción del área cubierta por bosques nativos, con tasas del orden del 0,49% anual que representa una pérdida aproximada de 190.589 ha por año (UMSEF, 2017). Según el Inventario Nacional de GEI de Argentina (2014), la deforestación contribuye con el 14,5 % de las emisiones totales del país (Programa Nacional ONU-REDD, 2019).

La importancia de los bosques como fijadores de C puede ser confirmada a partir de la estimación de la biomasa forestal (Gower, 2003). La biomasa vegetal constituye un indicador de las existencias de C en los ecosistemas y ha sido incluida por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático como variable esencial para mejorar la predicción y mitigación del cambio climático global. La biomasa de las especies leñosas puede ser estimada mediante modelos alométricos obtenidos por medio de análisis de regresión entre datos de biomasa o volumen determinados por el método destructivo, y las variables alométricas colectadas en inventarios forestales (Andrade et al., 2014). Los modelos deben ser específicos para cada especie y cada parte del árbol (Schlegel 2001; Risio Allione et al., 2012).

1. 1 Pg = 10¹⁵ g

Si bien existe una amplia diversidad de modelos de estimación de biomasa desarrollados para especies de ecosistemas méxicos y plantaciones forestales (Segura y Kanninen 2005; Fonseca et al., 2009), resultan limitados para bosques xerofíticos y semixerofíticos (León de la Luz et al., 2005). Si no se dispone de modelos de biomasa es posible recurrir a los factores de expansión de biomasa (FEB), que utilizan el volumen o la biomasa de los troncos para obtener la biomasa total del individuo; estos coeficientes son útiles para estimar la biomasa arbórea total y el C almacenado a partir de la información de inventarios forestales (Somogyi et al., 2006).

Por lo general, el C almacenado en la vegetación se obtiene del producto entre la biomasa vegetal y un factor de conversión a C (fracción de C), siendo de sumo interés conocer este coeficiente para lograr estimaciones de precisión (Thomas y Martin, 2012; Jones y O' Hara, 2016). En las evaluaciones del C almacenado en la biomasa aérea se asume generalmente una fracción de C igual al 50% de la biomasa, sin hacer diferenciación entre especies (Brown y Lugo, 1982; IPCC, 1996). Sin embargo, al usar este valor predeterminado se ignora la variación de la fracción de C entre especies vegetales, órganos o componentes de las plantas y formas de vida, pudiendo generar sesgos en la estimación (Martin y Thomas, 2011; Rodrigues et al., 2015). El Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006), ha proporcionado diferentes valores de la fracción de C según el tipo de especies arbóreas basado en análisis químicos de muestras, siendo de 0,470 para especies tropicales y subtropicales; y 0,480 y 0,510 para especies de hoja ancha y coníferas en bosques templados, respectivamente.

A nivel nacional, y en particular para el Espinal, son escasos los estudios tendientes a obtener modelos de estimación de biomasa y FEB en especies nativas. Es prioritario contar con modelos locales y específicos de predicción de la biomasa de las especies dominantes de los bosques nativos, como herramienta para estimar el C almacenado y evaluar el efecto del cambio de uso de la tierra sobre esta variable.

A su vez, generar información local sobre el contenido de C de las especies arbóreas dominantes aportaría precisión a las estimaciones del C almacenado y de emisiones de CO₂ causadas por la deforestación y degradación de los bosques del Espinal, a efectos de valorar su servicio ambiental como fijadores de C.

Marco metodológico

Caracterización del área de estudio

El estudio se desarrolló en el área de bosques nativos del Departamento Paraná (Entre Ríos, Argentina), en la localidad de Aldea Santa María.

El área de bosques nativos de la provincia de Entre Ríos (Argentina) corresponde 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. La vegetación de la región está caracterizada por bosques semixerófilos dominados por ñandubay (*P. affinis*) y espinillo (*V. caven*), frecuentemente acompañados por algarrobo negro (*P. nigra*), algarrobo blanco (*P. alba*), tala (*Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm.) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), entre otras especies. Son bosques bajos, con un estrato arbóreo inferior a los 6 m de altura. Estos bosques se caracterizan por su heterogeneidad, resultante de las condiciones ecológicas y la historia de uso y manejo al que han sido sometidos, destinándose principalmente a actividades de cría y recría de ganado vacuno en base al pastizal natural que se desarrolla en el estrato herbáceo de estos sistemas boscosos. El sitio donde se efectuó el estudio presenta suelos Hapludertes típicos (Serie María Grande, Orden Vertisol).

Caracterización del bosque nativo

La caracterización del bosque nativo en estudio se efectuó a través de un relevamiento preliminar, en el que se evaluaron 6 parcelas circulares de 15 m de radio distribuidas al azar. El bosque nativo en el que se instalaron los sitios experimentales es un bosque *bajo*, cuya fisonomía responde a una altura del

estrato arbóreo menor a los 6 m. La densidad arbórea promedio es de 1112 individuos/ha, con un 69% aportado por *P. affinis* acompañado de *Vachellia caven*, *Prosopis nigra* y *Celtis ehrenbergiana*.

Respecto a la estructura diamétrica del bosque evaluado, se observaron diferencias entre especies. Para *P. affinis*, hubo dominancia de las clases 5-10, 10-15 y 15-20 cm (d_{15}), que representaron el 85% de la abundancia relativa (Fig. 1a). *Vachellia caven* mostró un comportamiento diferente, registrándose un 45,7% de individuos de 5-10 cm, mientras que las clases 10-15 y 15-20 sumaron otro 45,7% (Fig. 1b).

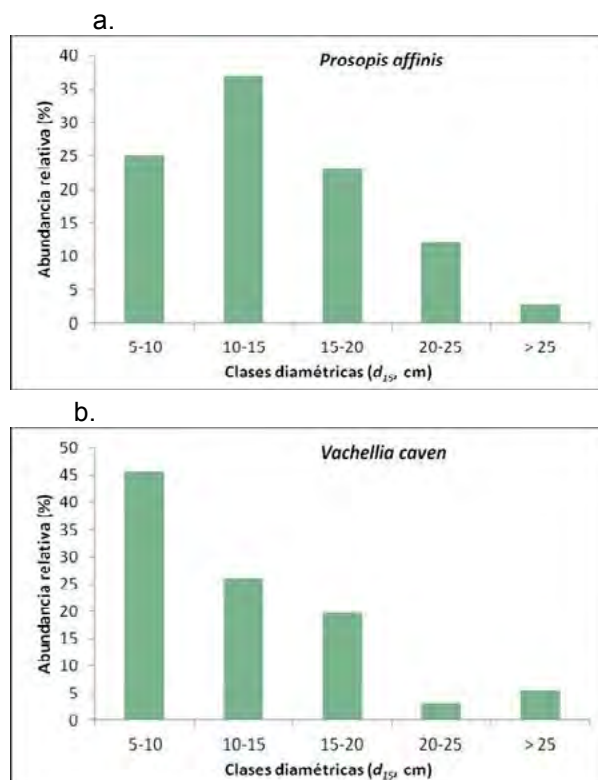
En el algarrobo negro, hubo dominancia de las clases diamétricas 15-20 y 20-25, las que totalizaron un 57,43% de la abundancia total. Esta especie a su vez fue la que reportó las mayores abundancias relativas de individuos > 25 cm de diámetro (30,62%) (Fig. 1c).

Muestreo de individuos arbóreos

Se trabajó con las tres especies dominantes de los bosques: *Prosopis affinis* (ñandubay), *Vachellia caven* (espinillo) y *Prosopis nigra* (algarrobo negro). Se seleccionaron 30 individuos por cada especie, según lo recomendado por Segura y Andrade (2008), distribuidos en diferentes clases diamétricas, las que variaron según la especie. Los tamaños de individuos seleccionados representan el rango de tamaños de individuos de cada especie arbórea. Para *P. affinis* las clases fueron: 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 y >25 cm d_{15} , seleccionando seis individuos por clase diamétrica. En el caso de *V. caven* se trabajó con cuatro clases diamétricas: 5-10, 10-15, 15-20 y >20 cm d_{15} . Dado las bajas frecuencias de las clases 20-25 y >25 cm, ambas clases fueron reunidas en la categoría >20 cm. El número de individuos por clase diamétrica estuvo en función de la estructura diamétrica de la especie (9, 8, 7 y 6 individuos respectivamente).

Las clases diamétricas evaluadas en *P. nigra* fueron siete: 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35 y mayor a 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.

La selección de los individuos se realizó teniendo en cuenta la posición social (árboles dominantes), calidad del fuste (sin deformaciones), copa bien desarrollada y vitalidad (árboles sanos y vigorosos).



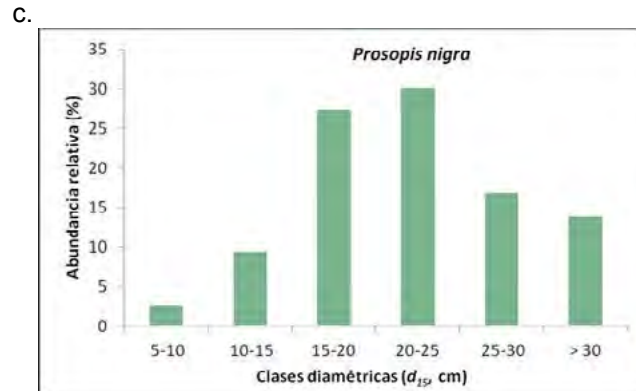


Figura 1. Densidad relativa de clases diamétricas por especie. Donde d_{15} : diámetro basal a 15 cm del suelo.

Cuantificación de la biomasa arbórea individual

La biomasa se cuantificó por el método destructivo, en febrero/marzo coincidente con la etapa fisiológica de máxima expresión del follaje de las especies. 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 total (h); altura del fuste (hf) considerada hasta la primera bifurcación; diámetro mayor de copa (Dc) y su perpendicular (diámetro menor de copa, dc); y altura de la primera rama verde para determinar la altura de copa (hc). Se calculó el área basal (ab) de cada individuo. 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 el área de copa (ac), como $\pi(Dc + dc)^2 / 4\pi(Dc + dc)^2 / 4$, y la altura de copa, como la diferencia entre la ht y la altura de la base de la primera rama verde, según lo propuesto por Gaillard de Benitez et al. (2014).

Los árboles fueron cortados a ras del suelo, y se procedió a la separación de la biomasa en tres componentes: fuste (f , considerado desde la base del tronco hasta la primera ramificación importante); ramas grandes (rg , diámetro > 5 cm); y ramas pequeñas (diámetro \leq 5 cm) + hojas+ flores+ frutos (rph). La materia seca de cada componente se estimó en el campo, pesando el material en fresco con una balanza de gancho de 300 kg (resolución 100 g). Para la determinación de materia seca se extrajeron alícuotas o submuestras. 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 materia seca de cada componente, y afectarlo al peso húmedo de cada uno de ellos. La biomasa aérea total de cada individuo fue calculada como la suma de la materia seca de todos los componentes.

Estimación de factores de expansión de la biomasa (FEB)

Los valores de FEB fueron estimados como el cociente entre la biomasa aérea total (Bt) y la biomasa del fuste (Bf), expresadas como kg de materia seca por individuo. Finalmente, fueron calculados los FEB promedios para cada clase diamétrica.

Modelos alométricos de estimación de biomasa arbórea.

Los modelos alométricos se desarrollaron siguiendo la propuesta metodológica de Segura y Andrade (2008) para especies perennes. Se evaluó la normalidad y homogeneidad de las varianzas de los datos. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la biomasa total y por componente, y las variables independientes (d_{15} , d_{30} , dap , ht , hf , hc y ac) para identificar su capacidad de explicar la biomasa arbórea. Se verificó la normalidad (test de Shapiro-Wilk) y la homogeneidad de las varianzas de los datos.

Se evaluaron y ajustaron 8 modelos alométricos genéricos (Loetsch et al., 1973; Tabla 1), de frecuente utilización en especies leñosas perennes. Adicionalmente al ajuste de estos modelos se construyeron otros modelos, utilizando como variables predictoras a aquellas que demostraron alta correlación con la biomasa y que no estaban incluidas en los modelos genéricos ajustados. Para la construcción de estos nuevos modelos, se evaluó la normalidad y homogeneidad de las varianzas de los datos. Las variables d_{15} , d_{30} , dap , h , hf y ac se utilizaron como variables predictoras. Los parámetros Bt , Bf , Brg y $Brph$ fueron consideradas variables dependientes. Basado en el análisis de normalidad, independencia y homogeneidad de las varianzas de estas variables, se utilizaron transformaciones (logaritmos naturales). Se realizaron análisis de regresión lineal con y sin transformaciones logarítmicas mediante el método de mínimos cuadrados. Utilizando los módulos de regresión lineal simple y múltiple de Statgraphics Centurion XVI® versión 16.1 (StatPoint Technologies Inc., 2010), se generaron funciones de regresión predictiva para cada una de las variables dependientes. La selección de los mejores modelos se efectuó siguiendo el criterio de Andrade et al. (2014), a partir del cálculo del coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj.), el error cuadrático medio de predicción (ECMP), los Criterios de Información de Akaike (AIC) y Bayesiano de Información (BIC) y el Índice de Furnival (IF) (Furnival, 1961). Cada indicador fue calificado de mejor a peor en cada modelo obtenido; el mejor modelo resultó aquel con mejor calificación combinada de esos criterios (Andrade et al., 2014). 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® (versión 16.1) (StatPoint Technologies Inc., 2010).

Tabla 1. Modelos genéricos ajustados para la estimación de la biomasa aérea total de individuos arbóreos, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina).

Autor	Modelo
Berkhout	$B = a + b \cdot dap$
Kopezky	$B = a + b \cdot dap^2$
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	$\ln B = a + b \cdot \ln dap + c \cdot \ln h$

Donde: B indica biomasa arbórea; dap : diámetro del tronco a la altura del pecho -a 1,30 m de altura-; h : altura total.

Análisis de la fracción de carbono

Luego del proceso de secado en estufa, las submuestras de cada componente arbóreo fueron molidas y tamizadas con tamices de apertura de malla de 0,5 mm. De cada individuo se obtuvieron tres muestras (una por componente), analizándose 90 muestras por especie (30 individuos por tres componentes).

La estimación de la fracción de C se efectuó mediante combustión seca utilizando un autoanalizador LECO, modelo TRU SPEC (Leco Corp., St. Joseph, MI, ESTADOS UNIDOS). Los análisis se efectuaron en el Laboratorio de Suelos del INTA (Estación Experimental Agropecuaria Paraná).

Se calculó la fracción de C media para cada componente de la biomasa aérea y para cada clase diamétrica. Se estimó el promedio ponderado de la fracción de C para cada especie, considerando la contribución porcentual de cada componente arbóreo a la biomasa aérea individual y sus diferentes contenidos de C.

Carbono almacenado en la biomasa individual

Con los datos de biomasa aérea individual, contribución porcentual de cada componente de biomasa y su fracción de C, se estimó el total del C almacenado en cada individuo muestreado.

Evaluación de la línea base de stock de C y estimación de las tasas de fijación de carbono

En base a información disponible en publicaciones del grupo de trabajo (Sione et al., 2011; Ledesma et al., 2007; Proyecto GEF), sobre caracterización de seis bosques nativos de diferente fisonomía y que resultan representativos del Espinal entrerriano (variables alométricas) y mediante la aplicación de los modelos obtenidos en este proyecto, se estimó el stock de C contenido en la biomasa arbórea de estos ecosistemas. Luego se procedió a estimar el CO₂ almacenado en la biomasa aérea por unidad de área, en función de lo propuesto por Pearson et al., 2005 y Rüginitz et al., 2009, a través del siguiente procedimiento:

a. Cálculo de la biomasa arbórea por hectárea: en esta etapa se utilizaron los modelos de estimación de biomasa para cada especie obtenidos en el presente proyecto.

$$BA = (\sum BAU/1000) \times (10000 / \text{área de la parcela})$$

Donde: $\sum BA$ = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha); BAU = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg MS/área de la parcela); Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS por t MS; Factor 10000 = Conversión del área en m² a ha.

b. Cálculo del stock de carbono en la biomasa arbórea por hectárea:

$$\Delta CBA = (BA * FC)$$

Donde: ΔCBA = Cantidad de C en la biomasa sobre el suelo (t C/ha); BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha); FC = Fracción de carbono (t C/t MS). Los valores de FC fueron los determinados en el presente proyecto.

c. Estimación del CO₂

Para estimar el CO₂ almacenado por los bosques nativos se utilizó el factor de conversión 3,67 teniendo en cuenta que una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas (t) de CO₂ (obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO₂, de 12/44). Este valor también permite estimar las emisiones de CO₂ a partir de la cantidad de carbono almacenada en un determinado depósito.

Estimación de la tasa de captura y fijación de C

Se estimó la cantidad de C capturado por el estrato arbóreo de los seis bosques durante un período de un año, a partir del incremento de biomasa por individuo alcanzado en ese período de tiempo. El aumento de biomasa en un año se obtuvo aplicando nuevamente los modelos alométricos sobre un nuevo valor de diámetro resultante del crecimiento experimentado por un individuo arbóreo en un año.

Se utilizaron los valores de incremento diamétrico anual por clase diamétrica determinados por Sione et al. (2011) en bosques del Espinal de Entre Ríos para *P. nigra*, *P. affinis* y *V. caven*. Por otro lado, para *Geoffroea decorticans* se utilizó un valor de incremento diamétrico anual de 0,59 cm de acuerdo a lo obtenido por Gimenez y otros (2013); y para *A. quebracho blanco*, se aplicó el incremento diamétrico anual sugerido por Araujo y otros (2007) para la clase diamétrica correspondiente que fue de 0,4 cm.

Tabla 2. Valores de incremento diamétrico anual por especie arbórea (Tomado de Sione et al., 2011)

Incremento diamétrico anual por especie (cm)			
Clase Diamétrica	<i>Prosopis affinis</i>	<i>Prosopis nigra</i>	<i>Vachellia caven</i>
I (<15 cm)	0,1	0,45	0,145
II (15-25 cm)	0,13	0,5	0,09
III (25-35 cm)	0,09	0,3	0,05
IV (>35 cm)	0,075	0,4	---

A partir de los valores estimados de incremento de carbono almacenado por individuo, se obtuvo el valor de tasa anual de captura de C por hectárea para cada uno de los bosques estudiados; y con ello se hizo referencia a la cantidad de CO₂ retenido por una hectárea de bosque.

La tasa de fijación de C en los bosques se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula (Andrade, 2012):

$$\Delta C = (C_{t2} - C_{t1}) / (t2 - t1)$$

Donde: ΔC : Cambio en el contenido de C (tC/año); Ct1 : Contenido de C en t1 (tC); Ct2 : Contenido de C en t2 (tC)

Resultados (síntesis) y discusión

Biomasa aérea individual total y por componentes

Respecto a *Prosopis affinis*, los individuos presentaron una biomasa total arriba del suelo que varió entre 5,26 y 385,53 kg/árbol. La distribución por componente de la biomasa se muestra en la Figura 2a. En promedio, la mayor acumulación de biomasa se concentró en la fracción ramas pequeñas+ hojas + flores+ frutos (rph), seguida por el fuste (41,9±6,8 % y 32,8±10,7%, respectivamente).

La partición de la biomasa por componente tuvo tendencias diferentes en función del d_{15} . El porcentaje de participación del fuste (f) en la biomasa total de los individuos presentó una tendencia lineal negativa ($r = 0,66$), disminuyendo ante incrementos de d_{15} . La participación relativa del F mostró diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre clases diamétricas (Tabla 3), correspondiendo los menores valores medios a la clase >25 cm (20,6%). Se observó una tendencia de aumento en las proporciones de biomasa de ramas grandes (rg) con el aumento del d_{15} ($r = 0,82$), encontrándose diferencias estadísticas ($P < 0,0001$) entre clases diamétricas, con valores medios que oscilaron entre 5,4 y 41,1%. Los mayores valores corresponden a los individuos con $d_{15} > 25$ cm. Respecto al componente rph, su participación en la biomasa varió entre 38,3 y 49,9%, siendo significativamente superior ($P = 0,0115$) en los individuos de menor d_{15} .

Para la especie *Vachellia caven*, los individuos presentaron una biomasa total arriba del suelo que varió entre 2,68 y 190,49 kg árbol⁻¹. La distribución por componente de la biomasa individual se muestra en la Figura 2b. En promedio, la mayor acumulación de biomasa se concentró en rph (52,80 ± 9,04 %). El fuste y las ramas mayores arrojaron participaciones promedio similares (24,13±8,91 % y 23,47±13,99 %, respectivamente). La partición de la biomasa por componente tuvo tendencias diferentes en función de d_{15} . El porcentaje de participación de rg en la biomasa total presentó una tendencia lineal positiva ($R^2 = 0,86$), siendo mayor ante incrementos de d_{15} . Se observó una tendencia de disminución en las proporciones de biomasa de rph ante aumentos de d_{15} ($R^2 = 0,61$). Respecto al fuste, su participación relativa varió entre 9,81 y 47,31 %, observándose una leve tendencia lineal negativa ante incrementos de d_{15} .

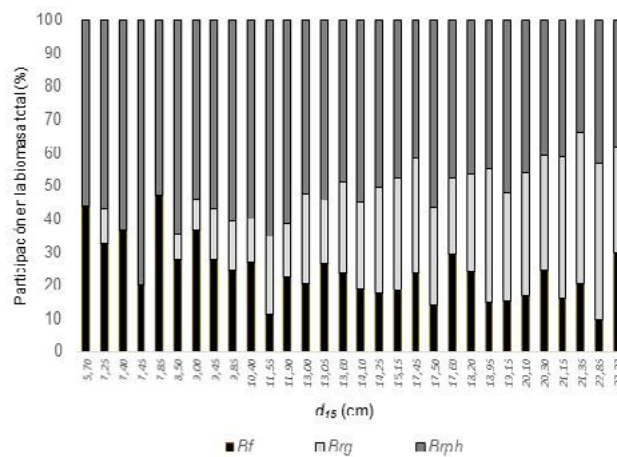
Respecto al análisis por clase diamétrica (Tabla 4), la participación del fuste resultó significativamente diferente ($P < 0,0001$; CV=28,33 %) entre clases diamétricas, siendo superior ($P = 0,0007$) en individuos de menor d_{15} . La participación relativa de rg mostró diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre clases diamétricas y un coeficiente de variación de 26,26 %. La participación promedio correspondiente a la clase 5-10 cm resultó significativamente menor respecto al resto de las clases. Respecto a la fracción rph, se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0,0001$) entre clases diamétricas, resultando la fracción con menor CV (11,63 %). Los mayores valores correspondieron a individuos de las clases 5-10 y 10-15 cm.

La biomasa aérea de los individuos de *Prosopis nigra* 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%), que resultó estadísticamente similar al aporte de las ramas grandes (36,09±17,42%). El fuste participó en promedio con 27,26±12,83%. Los individuos arbóreos evaluados presentaron una partición de la biomasa diferente en función de la clase diamétrica (Fig. 2c.). La participación de rg en la biomasa total presentó una tendencia lineal positiva ($R^2 = 0,74$), ante incrementos

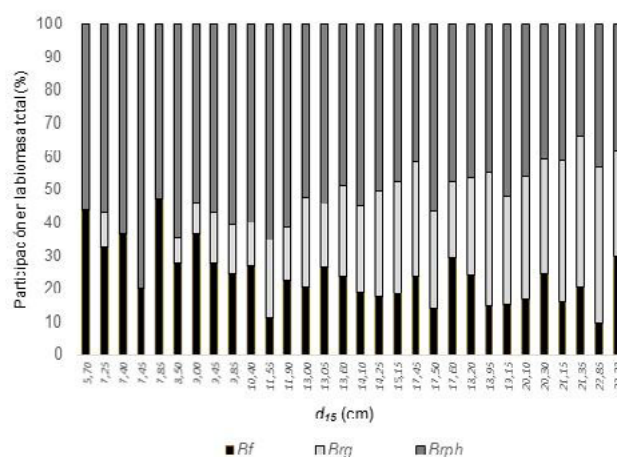
de d_{15} , mientras que la contribución de rph y f resultó menor en individuos de mayor diámetro ($R^2 = 0,50$ y $0,60$, respectivamente). Respecto al análisis por clase diamétrica (Fig. 3), la participación del fuste resultó significativamente diferente ($P=0,0005$; $CV=32,42\%$) entre clases, siendo superior en individuos de menor d_{15} . La participación relativa de rg mostró diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre clases y un coeficiente de variación de $22,56\%$. La participación promedio correspondiente a la clase 5-10 cm ($2,63\%$) resultó significativamente menor respecto al resto de las clases, mientras que los individuos de clases superiores (30-35 y > 35 cm) presentaron los mayores porcentajes ($54,85$ y $54,94\%$, respectivamente). Respecto a la fracción rph, se encontraron diferencias estadísticas ($P = 0,0015$) entre clases diamétricas, resultando la fracción con menor CV ($19,07\%$). Individuos pequeños (5-10 cm) presentaron valores medios significativamente mayores que el resto de las clases.

La variación de los porcentajes de los componentes de biomasa en función del diámetro no es coincidente con lo reportado por Méndez González et al. (2006) y Gaillard de Benítez et al. (2014), quienes determinaron, para *Prosopis glandulosa* y *P. nigra*, respectivamente, relaciones crecientes para fuste y decreciente para hojas y ramitas.

a.



b.



c.

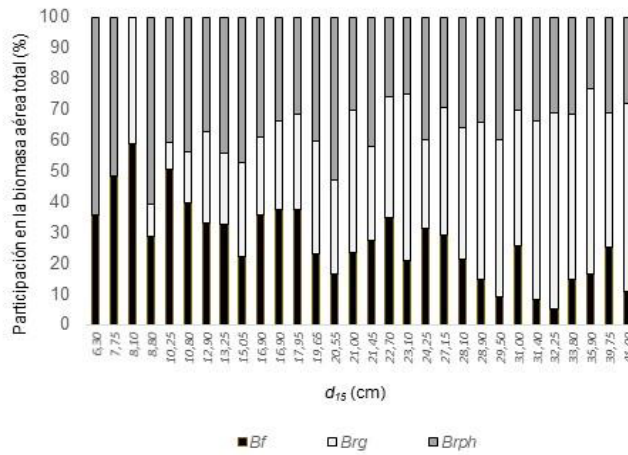


Figura 2. Participación de los componentes estructurales en la biomasa (%) de individuos de *Prosopis affinis* (a); *Vachellia cavem* (b) y *Prosopis nigra* (c), en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos). d₁₅: diámetro del tronco a 15 cm desde el suelo; Bf: biomasa de fuste; Brg: biomasa de ramas grandes, de diámetro > 5 cm; y Brph: biomasa de ramas pequeñas, de diámetro ≤ 5 cm + hojas, flores y frutos.

Tabla 3. Participación relativa de los componentes estructurales en la biomasa individual de *Prosopis affinis* en función de las clases diamétricas, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Clase diamétrica (cm)	Participación de cada componente estructural en la Bt (%)		
	f	rg	rph
5-10	44,74 ^a	5,37 a	49,87 a
10-15	41,80 ^a	18,68 b	39,52 b
15-20	30,26 b	27,55 c	42,18 b
20-25	26,60 bc	33,81 c	39,59 b
>25	20,64 c	41,09 d	38,26 b

Bt: biomasa total; f: fuste; rg: ramas grandes, de diámetro > 5 cm; y rph: ramas pequeñas, de diámetro ≤ 5 cm + hojas, flores y frutos. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD Fisher p ≤ 0,05)

Tabla 4. Participación relativa de los componentes estructurales en la biomasa individual de *Vachellia cavem* en función de las clases diamétricas, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Clase diamétrica (cm)	Participación de cada componente estructural en la Bt (%)		
	f	rg	rph
5-10	34,07 a	5,42 a	60,51 a
10-15	21,43 b	22,09 b	56,48 a
15-20	20,05 b	31,88 c	48,07 b
20-25	19,69 b	37,79 c	42,53 b

Bt: biomasa total; f: fuste; rg: ramas grandes, de diámetro > 5 cm; y rph: ramas pequeñas, de diámetro ≤ 5 cm + hojas, flores y frutos. Letras distintas indican diferencias significativas (LSD Fisher p ≤ 0,05)

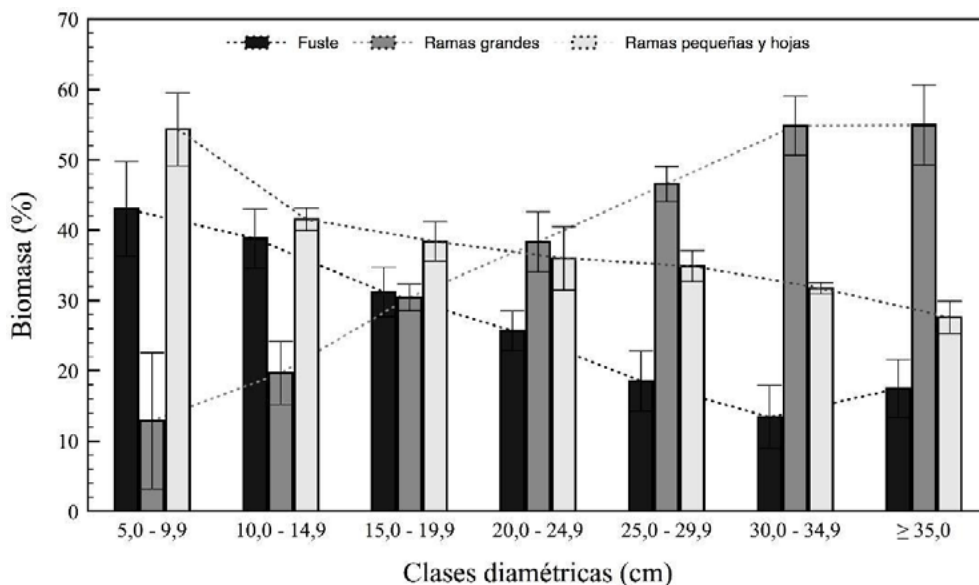


Figura 3. Participación relativa de los componentes estructurales en la biomasa individual (%) de *Prosopis nigra* por clase diamétrica, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina).

Factores de expansión de la biomasa (FEB)

En *P. affinis*, se observó una tendencia lineal positiva en los valores de FEB con el aumento de d_{15} ($R^2=0,72$), correspondiendo los mayores valores a las clases diamétricas mayores. Al analizar los valores de FEB por clase diamétrica, se observaron diferencias significativas entre clases ($P < 0,0001$), con valores medios que oscilaron entre 2,3 y 4,9. Los mayores valores correspondieron a la clase >25 cm, resultando significativamente superior ($P < 0,0001$) que el resto de las clases diamétricas (Tabla 5a). Este comportamiento obedece a la creciente participación relativa de la fracción compuesta por ramas mayores a 5 cm, a medida que aumenta el DB, y a la menor participación del fuste en la biomasa total.

En *V. caven* (Tabla 5b) también se observó una tendencia lineal positiva en los FEB ante mayores d_{15} , aunque menos significativa que en *P. affinis* ($R^2=0,27$), correspondiendo valores más altos a las clases diamétricas mayores. El análisis por clase diamétrica indica diferencias significativas entre clases ($P=0,023$; $CV=34,4\%$), con valores medios entre 3,1 y 5,8. Los menores valores correspondieron a la clase 5-10 cm, significativamente inferior que el resto de las clases diamétricas (Tabla 5b). Este comportamiento obedece a la creciente participación relativa de la fracción compuesta por ramas mayores a 5 cm, a medida que aumenta el diámetro, y a la menor participación del fuste en la biomasa total.

Tabla 5. Factores de expansión de la biomasa de *Prosopis affinis* (a), *Vachellia caven* (b) y *Prosopis nigra* (c) por clase diamétrica, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

a. *Prosopis affinis*

Clase diamétrica (cm)	Factor de Expansión de la biomasa (FEB)	
	Media	EE
5-10	2,25 a	0,12
10-15	3,06 a	0,18
15-20	3,56 b	0,50
20-25	4,55 b	0,31
>25	5,28 c	0,27

b. *Vachellia caven*

Clase diamétrica (cm)	Factor de Expansión de la biomasa (FEB)	
	Media	EE
5-10	3,14 a	0,92
10-15	4,99 b	1,61
15-20	5,34 b	1,45
20-25	5,76 b	2,42

c. *Prosopis nigra*

Clase diamétrica (cm)	Factor de Expansión de la biomasa (FEB)	
	Media	EE
5-10	2,50 a	1,43
10-15	2,66 a	1,43
15-20	3,40 a	1,28
20-25	4,14 a	1,16
25-30	6,49 ab	1,43
30-35	10,48 b	1,43
>35	6,40 ab	1,65

EE: error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas al 5% (Test de Fischer).

En *P. nigra*, los FEB promedios por clase diamétrica variaron de 2,50 a 10,48 (Tabla 5c.), y evidenciaron diferencias significativas entre clases ($P=0,0063$). Los menores valores correspondieron a individuos de 5-10 cm de diámetro, resultando significativamente inferior que el resto de las clases diamétricas.

Los valores de FEB reportados en la bibliografía para diferentes especies son muy variables. El IPCC ha establecido valores de FEB por defecto; para especies de hoja ancha varían entre 1,15 y 3,2 para bosques templados y entre 2,0 y 9,0 para bosques tropicales (IPCC, 2014). Bautista-Hernández y Torres-Pérez (2003) determinaron para *Manilkara zapota* valores de FEB de 3,7, en tanto que para *Caesalpinia platyloba* (especie de bosques tropicales) resultó significativamente mayor (21,3). Por su parte, Domínguez Cabrera et al. (2009), obtuvo valores de 1,4 y 1,5 para *Pinus teocote* y *Quercus sp.*, respectivamente.

Silva y Nívar (2010) y Chávez-Pascual et al. (2013) indican que los FEB son dependientes de las dimensiones del árbol, tales como el diámetro y la altura. Los altos valores determinados en el presente trabajo para los individuos de mayor diámetro (en las tres especies evaluadas) obedecen a la fisonomía de estas especies, caracterizada por una menor participación del fuste en individuos de mayores diámetros y un mayor crecimiento relativo de la copa respecto al fuste. Individuos pequeños (5-10 y 10-15 cm de $d_{1,5}$) donde los FEB son pequeños, poseen más biomasa en la fracción rph que aquellos de mayor diámetro.

Risio Allione et al. (2012) observaron en *P. caldenia*, que el mayor porcentaje de biomasa se encuentra en la copa (ramas y hojas), correspondiendo al fuste la menor participación en la biomasa total (19 % en promedio), si bien en esta investigación también se consideró la biomasa de raíces. Aunque estos autores no reportan estimados de FEB, es de esperar que con estos porcentajes de participación del fuste en la biomasa total se obtengan FEB similares a los determinados en el presente trabajo.

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

En *P. affinis*, la biomasa aérea total estuvo altamente correlacionada con $d_{1,5}$, d_{30} , dap , ab y ac ($0,92 < r < 0,98$; $P < 0,01$), y moderadamente con hc y h ($r = 0,70$ y $r = 0,64$, respectivamente). En contraste, la hf mostró una baja correlación con la biomasa (Tabla 6). La biomasa del fuste resultó mejor explicada

por las variables independientes (d_{15} , d_{30} , dap , ab y ac) que la biomasa de los otros componentes (ramas grandes y la fracción compuesta por ramas pequeñas + hojas, flores y frutos) (Tabla 6).

Tabla 6. Correlación (Coeficiente r de Pearson) entre la biomasa aérea (total y por componentes) y las variables dasométricas, en individuos de *Prosopis affinis*

Biomasa	d_{15}	d_{30}	dap	ab	ac	h	hc	hf
Bf	0,97	0,97	0,97	0,98	0,96	0,69	0,70	-0,39
Brg	0,88	0,88	0,90	0,96	0,92	0,58	0,66	-0,49
Brph	0,92	0,92	0,93	0,97	0,96	0,65	0,71	-0,44
Bt	0,92	0,92	0,93	0,98	0,95	0,64	0,70	-0,46

Todos los valores del Coeficiente de Pearson superiores a 0.6 presentaron $P < 0,01$

d_{15} : diámetro del tronco a 15 cm desde el nivel del suelo; d_{30} : diámetro del tronco a 30 cm desde el nivel del suelo; dap : diámetro del tronco a la altura del pecho -a 1,30 m de altura-; ab : área basal; ac : área de copa; h : altura total; hc : altura de la primera rama verde; hf : altura del fuste; B_f : biomasa de fuste (kg/árbol); B_{rg} : biomasa de ramas grandes (kg/árbol); B_{rph} : biomasa de ramas pequeñas + hojas, flores y frutos (kg/árbol); B_t : biomasa aérea total.

La biomasa total de los individuos de *V. caven* estuvo altamente correlacionada con d_{15} , d_{30} , dap y ac ($0,91 < r < 0,94$; $P < 0,01$) y moderadamente con h . En contraste, la correlación con hf resultó baja (Tabla 7). La biomasa del fuste resultó mejor explicada por d_{30} ($r = 0,90$; $P < 0,01$) y d_{15} ($r = 0,90$; $P < 0,01$) (Tabla 7). Estos resultados son similares a los obtenidos en *P. affinis*.

Tabla 7. Correlación (Coeficiente r de Pearson) entre la biomasa aérea (total y por componentes) y las variables dasométricas de individuos de *Vachellia caven* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Biomasa	d_{15}	d_{30}	dap	h	hf	ac
Bf	0,89	0,90	0,82	0,72	0,51	0,84
Brg	0,84	0,87	0,89	0,75	0,14	0,89
Brph	0,91	0,93	0,94	0,79	0,18	0,91
Bt	0,91	0,94	0,94	0,79	0,23	0,92

Todos los valores del Coeficiente de Pearson superiores a 0,5 presentaron $P < 0,01$. d_{15} , d_{30} : diámetro del tronco a 15 y a 30 cm desde el nivel del suelo, respectivamente; dap : diámetro del tronco a la altura del pecho -a 1,30 m; h : altura total; hf : altura del fuste; ac : área de copa; B_f : biomasa de fuste (kg árbol⁻¹); B_{rg} : biomasa de ramas grandes (kg árbol⁻¹); B_{rph} : biomasa de ramas pequeñas + hojas, flores y frutos (kg árbol⁻¹); B_t : biomasa aérea total (kg árbol⁻¹).

En *P. nigra*, la biomasa total estuvo altamente correlacionada con d_{15} , d_{30} , dap , ac y ab ($0,95 < r < 0,96$; $P < 0,01$) y moderadamente con h . En contraste, la correlación con hf resultó baja (Tabla 8). La biomasa total fue la mejor explicada por las variables independientes, mientras que B_f arrojó menor correlación (Tabla 8). Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos en *V. caven*. Sin embargo, para *P. affinis* la biomasa del fuste resultó mejor explicada por las variables independientes que la biomasa de los otros componentes (ramas grandes y la fracción compuesta por ramas pequeñas + hojas, flores y frutos).

Tabla 8. Correlación (Coeficiente r de Pearson) entre la biomasa aérea (total y por componentes) y las variables dasométricas de individuos de *Prosopis nigra* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Biomasa	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

Todos los valores del Coeficiente de Pearson superiores a 0,5 presentaron $P < 0,01$

d₁₅: diámetro del tronco a 15 cm desde el nivel del suelo; d₃₀: diámetro del tronco a 30 cm desde el nivel del suelo; dap: diámetro del tronco a la altura del pecho -a 1,30 m de altura; h: altura total; hf: altura del fuste; ac: área de copa; ab: área basal; 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).

La correlación de la biomasa total y por componente con el diámetro (d₁₅, d₃₀ y dap) es mayor que la existente con el resto de las variables (Tabla 8), en coincidencia con lo reportado por Gaillard de Benítez et al (2014) en la misma especie, en bosques del Parque Chaqueño Seco. Estos autores observaron una marcada tendencia ascendente entre altura y biomasa, mientras que son prácticamente inexistentes con hf. En el presente trabajo hf también mostró baja correlación con la biomasa, lo que indicaría la variabilidad de valores de hf en individuos de diámetro similar. Otros estudios también han demostrado que la biomasa total es el componente mejor estimado a partir de las variables alométricas (Montoya Jiménez et al., 2018).

Modelos alométricos de biomasa aérea total y por componentes

Prosopis affinis

Los modelos genéricos (Tabla 1) evaluados para estimar biomasa mostraron menor bondad de ajuste que los obtenidos al incorporar como predictoras a aquellas variables dendrométricas de mayor correlación con la biomasa. Los modelos alométricos que presentaron los mejores estadígrafos para estimar la biomasa aérea total (Figura 4; Tabla 8) se basan en ac, h y dap (ecuación 1 y 2). Estos modelos estiman el Ln de la biomasa, por lo que la reconversión a valores de biomasa requiere del cálculo de un término de corrección

$$\ln(B_t) = -2,01 + 0,02*ac + 1,73*\ln(dap) + 0,82*\ln(h) \quad [1]$$

$$\ln(B_t) = -1,79 + 0,21*h + 0,02*ac + 1,74*\ln(dap) \quad [2]$$

Donde: Ln: logaritmo natural; Bt: biomasa aérea total (kg/árbol); ac: área de copa (m²); dap: diámetro a la altura del pecho (cm) y h: altura total (m).

Los modelos simples basados en diámetro basal (d₃₀ y d₁₅) también presentaron alta precisión (Tabla 8), siendo muy útiles para su utilización en individuos cuyo fuste se bifurca por debajo de 1,30 m, característica muy frecuente en esta especie.

Tabla 8. Modelos de mejor ajuste y sus estadígrafos, para la estimación de la biomasa aérea total y por componentes, de individuos de *Prosopis affinis* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Biomasa	Modelo	R ² aj	CME	ECMP	PRESS	AIC	BIC	IF
Fuste	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -2,82 + 2,04 \cdot \text{Ln}(d_{30})$	0,99	0,07	0,08	396,9	-48,6	-44,4	1,5
	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -3,05 + 2,08 \cdot \text{Ln}(d_{15})$	0,99	0,07	0,09	435,2	-39,9	-35,8	1,5
	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -1,98 + 1,81 \cdot \text{Ln}(\text{dap})$	0,97	0,07	0,09	399,2	-13,3	-9,1	2,6
	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -1,76 + 0,91 \cdot \text{Ln}(\text{ab})$	0,96	0,08	0,09	406,4	-13,3	-9,1	2,6
	$\text{Ln}(\text{Bf}) = 0,47 + 0,13 \cdot d_{15}$	0,94				4,22	8,42	3,7
Ramas grandes	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -7,29 + 3,26 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0,9 \cdot \text{Ln}(\text{h})$	0,98	0,07	0,08	1.015,2	7,4	12,8	2,8
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -6,70 + 2,86 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0,73 \cdot \text{Ln}(\text{h}) + 0,27 \cdot \text{Ln}(\text{ac})$	0,98	0,07	0,09	529,3	6,7	13,3	2,7
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -7,01 + 0,23 \cdot \text{h} + 3,26 \cdot \text{Ln}(\text{dap})$	0,98	0,10	0,11	1.337,6	7,6	12,9	2,8
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -6,47 + 0,19 \cdot \text{h} + 2,87 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0,28 \cdot \text{Ln}(\text{ac})$	0,98	0,12	0,15	3.243,5	6,9	13,6	2,8
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -6,70 + 3,50 \cdot \text{Ln}(\text{dap})$	0,97	0,12	0,14	2.816,5	11,9	15,9	3,5
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -8,53 + 3,99 \cdot \text{Ln}(d_{30})$	0,96	0,13	0,15	2.960,1	21,7	25,7	1,2
Ramas pequeñas+ hojas, flores y frutos	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -2,01 + 0,96 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0,71 \cdot \text{Ln}(\text{h}) + 0,65 \cdot \text{Ln}(\text{ac})$	0,97	0,04	0,06	1.075,8	-11,6	-4,6	3,6
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -1,79 + 0,19 \cdot \text{h} + 0,96 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0,64 \cdot \text{Ln}(\text{ac})$	0,98	0,05	0,05	1.211,3	-11,5	-4,4	3,6
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -0,77 + 0,06 \cdot \text{dap} + 0,85 \cdot \text{Ln}(\text{h}) + 0,68 \cdot \text{Ln}(\text{ac})$	0,97	0,06	0,08	1.801,5	-9,6	-2,6	3,8
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -1,37 + 0,99 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0,74 \cdot \text{Ln}(\text{ac})$	0,97	0,08	0,10	1.875,2	-6,1	-0,5	4,1
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -1,75 + 0,76 \cdot \text{Ln}(\text{ac}) + 1,06 \cdot \text{Ln}(d_{30})$	0,97	0,06	0,08	2.101,5	-5,6	0,01	4,0
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -0,04 + 0,07 \cdot d_{30} + 0,74 \cdot \text{Ln}(\text{ac})$	0,97	0,08	0,10	2.075,2	-4,8	0,8	4,2
Aérea total	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -2,01 + 0,02 \cdot \text{ac} + 1,73 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0,82 \cdot \text{Ln}(\text{h})$	0,99	0,04	0,04	3.466,2	-35,1	-28,1	5,9
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -1,79 + 0,21 \cdot \text{h} + 0,02 \cdot \text{ac} + 1,74 \cdot \text{Ln}(\text{dap})$	0,99	0,04	0,05	4.743,5	-34,4	-27,4	5,9
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -2,09 + 0,02 \cdot \text{ac} + 2,05 \cdot \text{Ln}(d_{30})$	0,99	0,04	0,05	8.046,4	-25,8	-20,2	6,8
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -3,23 + 2,61 \cdot \text{Ln}(d_{30})$	0,97	0,04	0,05	8.503,3	-7,9	-3,7	1,9
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -3,51 + 2,67 \cdot \text{Ln}(d_{15})$	0,97	0,05	0,06	5.967,3	-3,0	1,2	2,4
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -2,21 + 2,35 \cdot \text{Ln}(\text{dap})$	0,97	0,06	0,07	7.328,8	-6,8	-2,6	9,7
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -1,93 + 1,18 \cdot \text{Ln}(\text{ab})$	0,97	0,06	0,06	8.662,9	-6,8	-2,6	9,7

Donde: 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); d_{15} y d_{30} : 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); R²ajust: 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.

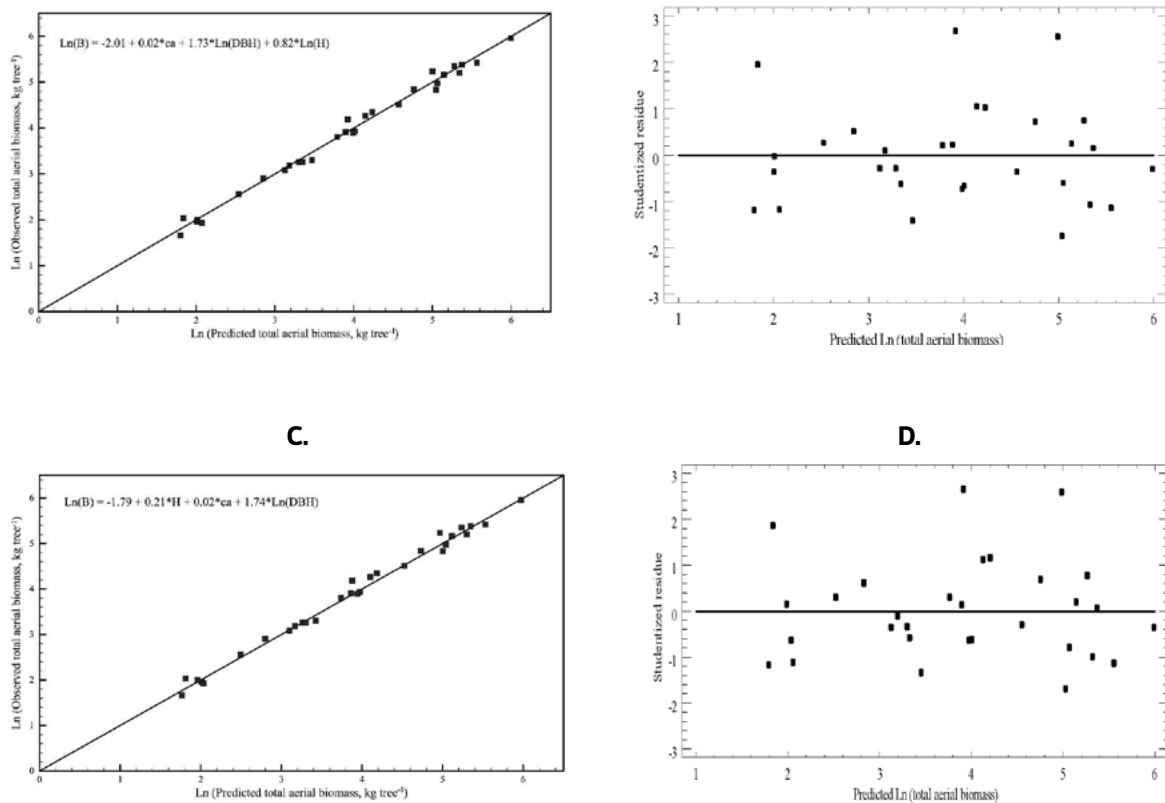


Figura 4. Modelos alométricos de mejor ajuste para la estimación de la biomasa aérea total de individuos de *Prosopis affinis* (a y c) con sus correspondientes gráficos de residuos (a la derecha).

Vachellia caven

En el caso de *V. caven*, también se observó que los modelos genéricos (Tabla 1) evaluados para estimar biomasa total mostraron menor bondad de ajuste que los modelos obtenidos al incorporar como predictoras a aquellas variables dendrométricas de mayor correlación con la biomasa. Los dos modelos alométricos que presentaron los mejores estadígrafos para estimar la biomasa total (Figura 5; Tabla 9) se basan en dap y ac (ecuación 1) y en dap y h (ecuación 2). Estos modelos estiman el Ln de la biomasa, por lo que la reconversión a valores de biomasa requiere del cálculo de un término de corrección.

$$\text{Ln}(Bt) = -1,69 + 1,74 \cdot \text{Ln}(dap) + 0,41 \cdot \text{Ln}(ac) \quad [1]$$

$$\text{Ln}(Bt) = -2,60 + 1,97 \cdot \text{Ln}(dap) + 0,98 \cdot \text{Ln}(h) \quad [2]$$

Donde: Ln: logaritmo natural; Bt: biomasa aérea total (kg árbol⁻³); dap: diámetro del tronco a la altura del pecho (cm); ac: área de copa (m²); h: altura total (m).

Por su parte, los modelos de mejor ajuste para estimar la biomasa por componente de individuos de *V. caven* se presentan en la Tabla 9. Los coeficientes R² aj. obtenidos para estos modelos fueron ≥ 0,91 tanto para la estimación de Bf, Brg y Brph (Tabla 9). En todos los casos, los parámetros o coeficientes de los modelos seleccionados fueron significativos (P < 0,05). Las variables relacionadas al diámetro (dap, d₁₅ y d₃₀) y el área de copa (ac) resultaron las mejores predictoras de la biomasa de cada componente. La altura total queda 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*.

Tabla 9. Modelos de mejor ajuste y sus estadígrafos, para la estimación de la biomasa aérea total y por componentes, de individuos de *Vachellia caven* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Biomasa	Modelo	R ² aj	CME	ECMP	PRESS	AIC	BIC	IF
Fuste	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -3,87 + 2,25 * \text{Ln}(d_{15})$	0,92	0,07	0,08	396,9	9,8	14,0	1,9
	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -3,97 + 2,05 * \text{Ln}(d_{15}) + 0,45 * \text{Ln}(h)$	0,92	0,07	0,09	435,2	10,7	16,3	1,9
	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -3,51 + 1,95 * \text{Ln}(d_{15}) + 0,17 * \text{Ln}(ac)$	0,92	0,07	0,09	399,2	11,0	16,6	1,9
	$\text{Ln}(\text{Bf}) = -3,69 + 2,23 * \text{Ln}(d_{30})$	0,91	0,08	0,09	406,4	14,4	18,6	2,0
Ramas grandes	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -7,06 + 2,90 * \text{Ln}(dap) + 1,47 * \text{Ln}(h)$	0,97	0,07	0,08	1.015,2	7,6	12,7	2,0
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -5,60 + 2,50 * \text{Ln}(dap) + 0,63 * \text{Ln}(ac)$	0,96	0,07	0,09	529,3	8,9	13,9	2,0
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -6,29 + 3,43 * \text{Ln}(dap)$	0,95	0,10	0,11	1.337,6	17,2	21,0	2,3
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -8,42 + 4,09 * \text{Ln}(d_{30})$	0,94	0,12	0,15	3.243,5	22,6	26,4	2,6
	$\text{Ln}(\text{Brg}) = -8,43 + 4,01 * \text{Ln}(d_{15})$	0,94	0,12	0,14	2.816,5	22,8	26,5	2,6
Ramas pequeñas+ hojas, flores y frutos	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -1,96 + 1,79 * \text{Ln}(dap) + 0,21 * \text{Ln}(ac)$	0,96	0,04	0,06	1.075,8	-3,5	2,1	3,2
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -2,15 + 2,07 * \text{Ln}(dap)$	0,96	0,05	0,05	1.211,3	-2,5	1,7	3,6
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -3,55 + 2,51 * \text{Ln}(d_{30})$	0,94	0,06	0,08	1.801,5	-6,9	11,1	4,0
	$\text{Ln}(\text{Brph}) = -3,66 + 2,49 * \text{Ln}(d_{15})$	0,93	0,08	0,10	1.875,2	-13,6	17,8	4,6
Aérea total	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -1,69 + 1,74 * \text{Ln}(dap) + 0,41 * \text{Ln}(ac)$	0,97	0,04	0,04	3.466,2	-10,5	-4,9	3,2
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -2,60 + 1,97 * \text{Ln}(dap) + 0,98 * \text{Ln}(h)$	0,97	0,04	0,05	4.743,5	-7,6	-1,9	3,2
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -3,70 + 2,83 * \text{Ln}(d_{30})$	0,97	0,04	0,05	8.046,4	-6,9	-2,7	3,2
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -3,83 + 2,61 * \text{Ln}(d_{30}) + 0,50 * \text{Ln}(h)$	0,97	0,04	0,05	8.503,3	-7,4	-1,8	3,2
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -2,05 + 2,31 * \text{Ln}(dap)$	0,96	0,05	0,06	5.967,3	0,3	4,5	3,6
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -0,38 + 0,46 * dap - 0,01 * dap^2$	0,96	0,06	0,07	7.328,8	5,1	10,7	4,0
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -3,84 + 2,82 * \text{Ln}(d_{15})$	0,96	0,06	0,06	8.662,9	2,2	6,4	4,0
	$\text{Ln}(\text{Bt}) = 0,61 + 0,01 * dap^2 - 0,003 * dap^2 * h + 0,08 * dap * h$	0,95	0,06	0,15	4.955,7	8,5	15,5	4,0

Donde: 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}); d_{15} y d_{30} : 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 (m^2); R²ajust: 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 Fournival

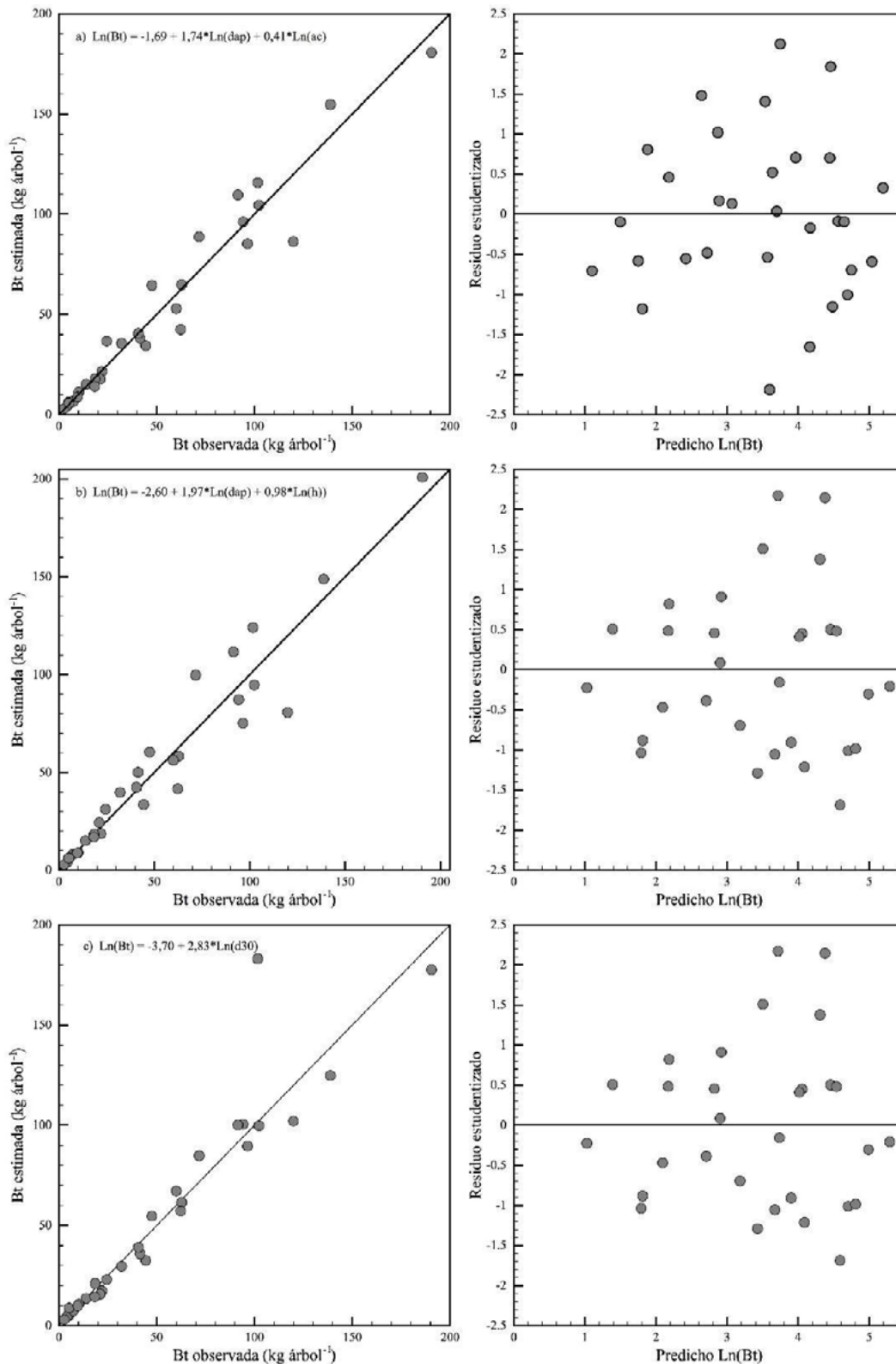


Figura 5. Modelos alométricos de mejor ajuste para la estimación de la biomasa aérea total de individuos de *Vauchellia caven* basados en *dap* y *ac* (a); en *dap* y *h* (b); y en *d*₃₀ (c), con sus correspondientes gráficos de residuos (a la derecha). Donde: *Bt*: biomasa aérea total (kg árbol⁻¹); *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).

Prosopis nigra

En la Tabla 10 se muestran las ecuaciones seleccionadas por su bondad de ajuste para estimar la biomasa aérea total y por componentes 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 aj. $\geq 0,87$. Las funciones para estimar la biomasa total presentaron R^2 aj. $\geq 0,98$ y en ellas se expresa la biomasa transformada a Ln para lograr mejor ajuste y homogeneidad en las varianzas. El modelo alométrico de mejor ajuste (Tabla 10; Fig. 6) está basado en Ln ($dap^{2*}h$) y en el Ln (d_{30}) y sus parámetros resultaron significativos ($p < 0,008$). Este modelo explica el 99% de la variabilidad en Ln (Bt). De las funciones que incluyen una sola variable independiente, la de mejor ajuste resultó aquella que estima el Ln (Bt) en función del Ln(dap).

Los modelos de mejor ajuste para estimar la biomasa de fuste presentaron coeficientes R^2 aj. obtenidos para estos modelos fueron $\geq 0,87$ (Tabla 10). La biomasa de este componente resultó mejor explicada por el dap y el Ln ($dap^{2*}h$), modelo que explica el 92% de la variabilidad en Ln Bf. Respecto al componente Brg, la función alométrica que mejor explica la variabilidad de Ln (Brg) tiene como variable predictora a la altura y al Ln ($dap^{2*}h$), siendo sus parámetros significativos, con $p < 0,005$ (Tabla 8).

Las dos ecuaciones de mayor bondad de ajuste para estimar Brph (Tabla 8) tienen como variable regresora al Ln (ac) y al diámetro, siendo el Ln(d_{30}). En este modelo, los valores de las variables regresoras resultan significativos ($p < 0,0008$) el coeficiente de determinación ajustado es de 0,97.

Las variables relacionadas al diámetro (dap , d_{15} y d_{30}) resultaron las mejores predictoras de la biomasa de cada componente. La altura total queda 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* y de *V. caven* desarrollados en el marco del presente proyecto.

Tabla 10. Modelos de mejor ajuste y sus estadígrafos, para la estimación de la biomasa aérea total y por componentes, de individuos de *Prosopis nigra* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

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

Donde: 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); d_{15} y d_{30} : 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); R²ajust: 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.

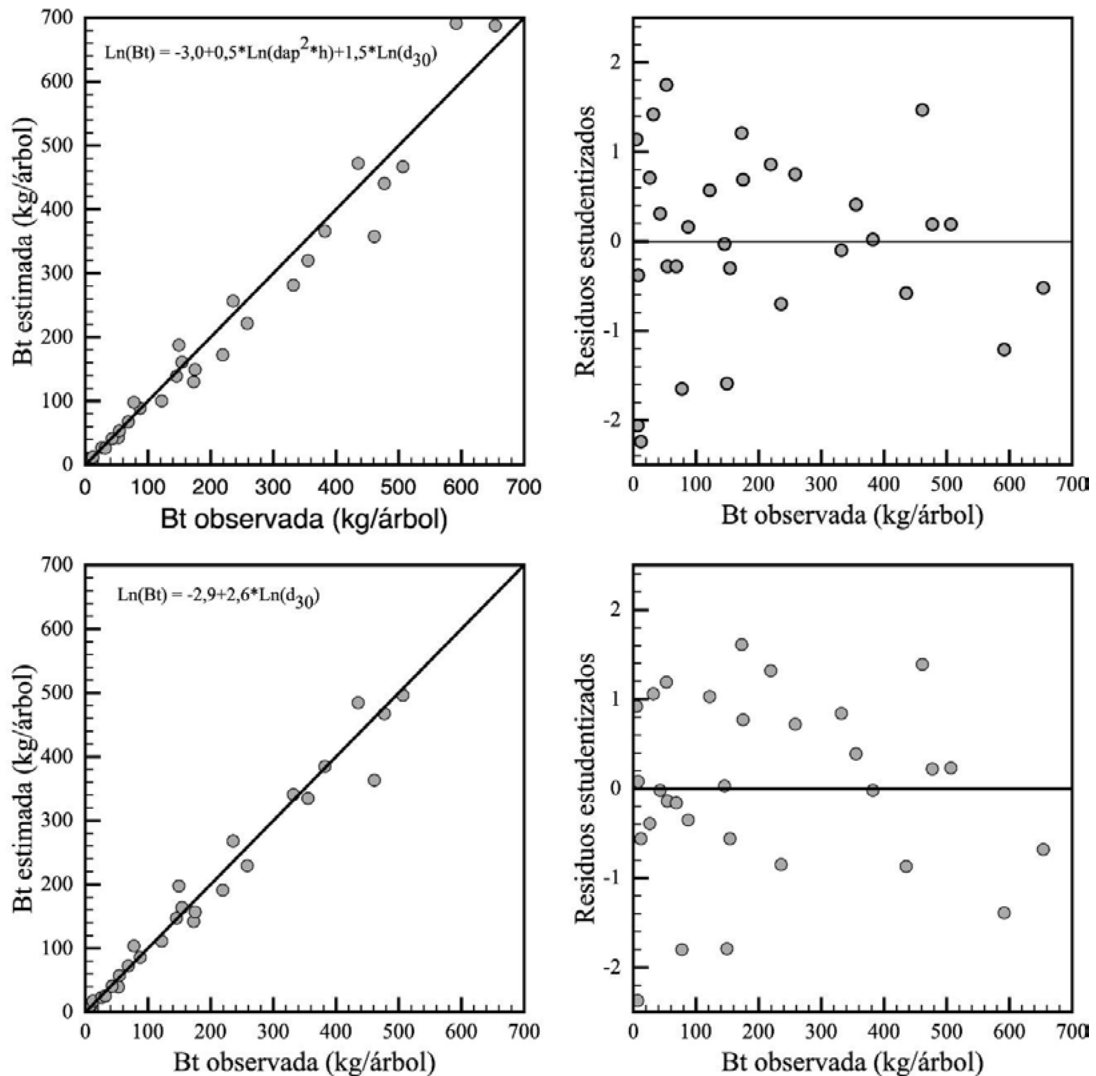


Figura 6. Modelos alométricos de mejor ajuste para estimar la biomasa aérea total de individuos de *Prosopis nigra*, basados en $dap^2 \cdot h$ y d_{30} (a); y en d_{30} (c), con sus correspondientes gráficos de residuos (a la derecha). Donde: Bt: biomasa aérea total ($kg \text{ árbol}^{-1}$); dap: diámetro a la altura del pecho (cm); h: altura total (m); d_{30} : diámetro basal a 0,30 m desde el nivel del suelo (cm).

Los modelos alométricos reportados en la bibliografía, si bien son variados, se basan generalmente en una sola variable independiente, en las que la biomasa depende del diámetro basal o del dap. Gaillard de Benítez et al. (2014) indican que esto obedece a que, además del significado biológico de estas funciones, en estos ajustes se utiliza la transformación logarítmica de ambas variables, dependiente e independiente, transformación que corrige los problemas de heterocedasticidad de los errores.

Los modelos desarrollados en este trabajo para predecir Brg y Brph desarrollados presentan alto ajuste y precisión, a diferencia de lo reportado en la bibliografía, donde estas funciones resultan de menor ajuste y precisión que las desarrolladas para el fuste y biomasa total. Esto puede atribuirse a que estos componentes estructurales están más influenciada por la competencia, regímenes hídricos y densidad de arbóreas, presentando mayor variabilidad (Návar-Cháidez, 2009; Andrade et al., 2016). Ledesma et al. (2010), desarrollaron funciones para estimar la biomasa foliar de *P. flexuosa*. Las de mejor ajuste fueron aquellas basadas en variables medidas dentro y en la base de la copa viva, mientras que las basadas en el diámetro basal resultaron de menor ajuste.

Risio et al. (2012) reportan que en *P. caldenia* la predicción de la biomasa foliar a partir del área basimétrica, el diámetro basal o el dap no es adecuada y no mejora incorporando otras variables como la altura total. Por este motivo, los autores incluyen esta fracción a la de ramas de < 2 cm de diámetro. Estos autores desarrollaron modelos de buen ajuste, con un valor mínimo de R^2 Adj. de 0,66 para las ramillas de 2-7 cm de diámetro y un máximo de 0,82 para el fuste.

En bosques del Parque Chaqueño Seco, Gaillard de Benítez et al. (2014) desarrollaron modelos alométricos de estimación de la biomasa individual de *P. nigra*. El diámetro 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. Sin embargo, la variable $d^{2 \times h}$ resultó también muy buena predictora de la biomasa total, en coincidencia con las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo. Los autores antes mencionados observaron que, si bien la regresión simple arrojó mejores valores de R^2 y AIC, los errores de predicción cometidos con la regresión múltiple resultaron levemente inferiores. Por su parte, en bosques del Espinal santafesino, Conti et al (2008) determinaron que el diámetro basal resultó el mejor estimador del volumen económico y aéreo de *P. nigra*. En nuestro estudio, la ecuación de estimación de la biomasa total basada 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.

Iglesias y Barchuk (2010) desarrollaron modelos para *Prosopis flexuosa* DC, *P. torquata* (Cavanilles ex Lagasca) D.C. y *Acacia furcatispina* Burkart. en la región del Chaco Árido argentino, siendo los de mayor ajuste aquellos que utilizan el cuadrado del diámetro a la base, en tanto que la incorporación de la altura total como variable regresora no produjo mejoras en la predicción de la biomasa. Por su parte, Risio Allione et al. (2012) determinaron funciones para estimar la biomasa individual total (aérea y radicular) 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.

Husch et al. (1971) proponen al dap como variable estimadora del volumen forestal de especies en general. En el Parque Chaqueño Seco, Gaillard de Benítez et al. (2000, 2014) también observaron que el dap resultó la variable de mayor correlación con la biomasa aérea individual de *P. nigra* y *A. quebracho-blanco*.

Fracción de C por especie y componente de la biomasa aérea

Prosopis affinis

En *P. affinis*, la fracción de C promedio fue de $0,474 \pm 0,02$. Las fracciones de C medias evidenciaron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$; $n=30$) entre los diferentes componentes arbóreos. El componente rph presentó una fracción de C significativamente inferior ($P \leq 0,05$) respecto a los otros componentes. El mayor valor promedio correspondió a los fustes (Tabla 11), aunque no difirió significativamente de las ramas mayores ($P > 0,05$).

En general, la fracción de C varió poco dentro de cada componente. La mayor variación se presentó en los fustes ($CV= 4,59\%$), con valores que oscilaron entre 0,429 y 0,523. Por su parte, la fracción rg arrojó la menor variación ($CV= 2,70\%$), con valores comprendidos entre 0,453 y 0,505.

Tabla 11. Fracción de C por componente de la biomasa aérea de *Prosopis affinis*, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Componente arbóreo	Media \pm EE
Ramas pequeñas+hojas, flores y frutos (rph)	0,457 \pm 0,004 ^a
Ramas grandes (rg)	0,482 \pm 0,004 ^b
Fuste (f)	0,485 \pm 0,004 ^b

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fischer $\alpha = 0,05$).
EE = error estándar de la muestra.

La mayor fracción de C en los fustes de la especie evaluada, respecto a los otros componentes de la biomasa, son consistentes con resultados de estudios previos (Gayoso y Guerra, 2005; Bert y Danjon, 2006; Martin y Thomas, 2011; Ma et al., 2017). De Petre et al. (2006) encontraron que los F de *P. affinis* presentaban un mayor contenido de C respecto a ramas gruesas y finas (0,481, 0,468 y 0,476, respectivamente). Gayoso y Guerra (2005), a partir de investigaciones realizadas en 16 especies arbóreas de bosques nativos de Chile, han reportado mayores fracciones de C en los fustes ($0,444 \pm 0,002$), resultando en general para todas las especies, ligeramente mayor que en las ramas, hojas y corteza ($0,435 \pm 0,002$). Esto podría explicarse por un menor contenido de minerales y mayor de lignina en los fustes respecto a los otros componentes. Sin embargo, Yerena Yamallel et al (2012) determinaron en las hojas la mayor fracción de C (0,481), significativamente superiores al resto de los tejidos aéreos de 15 especies arbóreas del estado de México. Peñuelas y Llusá (2003) afirman que la fracción de C de las hojas depende de factores como su anatomía, procesos fisiológicos tal como la fotorespiración y oxigenación, y de los cambios de la temperatura del ambiente.

Considerando la distribución de la biomasa de *P. affinis* y la fracción de C de cada componente, se obtuvo una fracción ponderada de C de $0,472 \pm 0,013$. Similares valores promedio fueron obtenidos por De Petre et al. (2006), para *P. affinis* (0,476) y *P. nigra* (0,478), si bien esta información fue obtenida con un $n=3$ por cada especie evaluada. Tanto el promedio simple como el ponderado, si bien resultan inferiores al valor por defecto de 0,50, son próximos a los valores establecidos por el IPCC (2006) para especies latifoliadas en bosques templados (0,48) y para especies tropicales y subtropicales (0,47). Se encuentran también dentro del rango de 0,45 a 0,50 citado por Houghton et al. (1999). Por su parte, Birdsey y Heath (2001) diferencian la fracción de C entre maderas blandas (52.1%) y maderas duras (0,521 y 0,491, respectivamente). Cabe destacar que *P. affinis* es una especie Fabacea de madera dura.

La fracción de C en los fustes resultó significativamente diferente ($p=0,0336$) entre clases diamétricas. Las clases mayores (20-25 cm y > 25 cm) presentaron valores de 0,508 y 0,496, respectivamente, superando significativamente ($p<0,05$) al resto de los tamaños. En los otros dos componentes de biomasa, no se detectaron diferencias estadísticas ($p>0,05$) entre clases diamétricas. En la literatura, la variación de la fracción de C en función del diámetro resulta divergente. Navarro Ceciliano et al. (2013) revelaron que esta variable no varió significativamente con el diámetro de *Apeiba tibourbou*, *Guatteria amplifolia*, *Hyeronima alchorneoides* y *Tetrathylacium macrophyllum* en bosques de Costa Rica. Por su parte, Cúbero y Rojas (1999) reportan una tendencia creciente en la fracción de C a medida que aumenta la edad de los árboles en plantaciones de *Gmelina arborea* Roxb., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Tectona grandis* L. En bosques de Chile, Gayoso y Guerra (2005) no encontraron relación entre el diámetro del árbol y el contenido de C de la madera de 16 especies arbóreas nativas.

Vachellia caven

La fracción de C promedio para *V. caven* fue de $0,477 \pm 0,01$. Las fracciones de C medias evidenciaron diferencias significativas ($p<0,05$; $n=30$) entre los diferentes componentes estructurales de la biomasa arbórea. La fracción de C en rph resultó significativamente superior ($p \leq 0,05$) respecto a los otros componentes, con un valor promedio de 0,484. El valor correspondiente a las ramas grandes fue significativamente inferior (Tabla 12). En general, la fracción de C varió poco dentro de cada componente. La mayor variación se presentó en F (CV=2,03%), con valores que oscilaron entre 0,456 y 0,496. Por su parte, las rg arrojaron la menor variación (CV=1,62%), con valores comprendidos entre 0,45 y 0,486.

Tabla 12. Fracción de C por componente de la biomasa aérea de *Vachellia caven* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Componente arbóreo	Fracción de C Media ± DE	
Ramas grandes (rg)	0,468±0,0099	a
Fuste (f)	0,476±0,0099	b
Ramas pequeñas+hojas+flores+frutos (rph)	0,484±0,0097	c

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fischer $\alpha = 0,05$). DE = desvío estándar de la muestra.

Considerando la distribución de la biomasa y la fracción de C de cada componente, se obtuvo una fracción ponderada de C de $0,478 \pm 0,002$. Tanto el promedio simple como el ponderado, si bien resultan inferiores al valor por defecto de 0,50, son próximos a los valores establecidos por el IPCC (2006) para especies latifoliadas en bosques templados (0,48) y para especies tropicales y subtropicales (0,47). Se encuentran también dentro del rango de 0,45 a 0,50 citado por Houghton et al. (1999). Por su parte, Birdsey y Heath (2001) diferencian la fracción de C entre maderas blandas y maderas duras (0,521 y 0,491, respectivamente). Cabe destacar que *V. caven* es una especie Fabácea de madera dura.

La fracción de C determinada en los fustes en este estudio resulta similar a los valores de 0,476 determinados para *P. affinis* en este mismo proyecto. Thomas y Martin (2012) determinaron valores similares (0,477) en fustes, coincidiendo también con las estimaciones de Ma et al. (2017) para especies de hoja ancha caduca (tal es el caso de *V. caven*) a partir de en una síntesis global de 46 años de investigaciones sobre variaciones en los contenidos de C en especies leñosas.

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la fracción de C promedio de individuos de diferentes clases diamétricas. Los individuos de mayor diámetro (20-25 cm) presentaron los mayores valores (0,485), significativamente mayor al resto de las clases.

El análisis por componente y por clase diamétrica indicó que en los fustes, la mayor fracción de C se obtuvo en individuos de 20-25 cm de diámetro (0,486), siendo significativamente mayores al resto de las clases. Los menores valores se determinaron en la clase 5-10 (0,469). En el componente rph también se determinaron las mayores fracciones de C en los individuos de mayor diámetro (0,492), sin embargo los individuos de la clase 5-10 cm también presentaron altos valores (0,484). En las ramas mayores no se observaron diferencias significativas en las fracciones de C en las distintas clases diamétricas, variando entre 0,450 y 0,486.

Prosopis nigra

La fracción de C promedio fue de $0,481 \pm 0,011$. Las fracciones de C evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes componentes. La mayor fracción de C se determinó en los fustes (0,485), sin embargo este valor resultó estadísticamente similar al determinado en las ramas pequeñas ($p \leq 0,05$) (Tabla 13). La fracción de C varió poco dentro de cada componente. La mayor variación se dio en rg (CV=2,37%), con valores que oscilaron entre 0,431 y 0,501. El componente rph arrojó la menor variación (CV=1,25%).

Tabla 13. Fracción de C por componente de la biomasa aérea de *Prosopis nigra* en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos).

Componente arbóreo	Fracción de C Media ± DE	
Ramas grandes (rg)	0,474±0,011	a
Ramas pequeñas+hojas+flores+frutos (rph)	0,483±0,006	b
Fuste (f)	0,485±0,010	b

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fischer $\alpha = 0,05$). DE = desvío estándar de la muestra.

Considerando la distribución de la biomasa y la fracción de C de cada componente, se obtuvo una fracción ponderada de C de $0,480 \pm 0,002$, levemente superior al determinado en las otras dos especies evaluadas. Al igual que en *P. affinis* y *V. caven*, tanto el promedio simple como el ponderado estimado para *P. nigra*, si bien resultan inferiores al valor por defecto de 0,50, son próximos a los valores establecidos por el IPCC (2006) para especies latifoliadas en bosques templados (0,48).

No se observaron diferencias significativas ($p=0,6638$) en la fracción de C promedio de individuos de diferentes clases diamétricas. Los valores promedios de C oscilaron entre 0,478 (clase 10-15 cm) y 0,487 (>35 cm). El análisis por componente y por clase diamétrica indicó que en los fustes y en las ramas pequeñas, la fracción de C varió significativamente entre clases. En el caso de los fustes, la fracción de C resultó significativamente mayor ($p<0,05$) en individuos de mayor diámetro (>35 cm), con valores promedios de 0,499. Para las ramas grandes estos valores no evidenciaron diferencias significativas entre clases diamétricas, variando entre 0,470 (5-10 cm) y 0,477 (>35 cm). En las ramas pequeñas no se observó un patrón definido. La mayor fracción de C correspondió a la clase 5-10 cm, sin embargo ésta resultó estadísticamente similar a las determinadas en los individuos de diámetro >35 cm. Los valores más pequeños fueron determinados en la clase 25-30 cm.

Los reportes sobre la variación de la fracción de C en función del diámetro resultan divergentes. Navarro Ceciliano et al. (2013) revelaron que esta variable no varió significativamente con el diámetro de *Apeiba tibourbou*, *Guatteria amplifolia*, *Hyeronima alchorneoides* y *Tetrathylacium macrophyllum* en bosques de Costa Rica. Por su parte, Cubero y Rojas (1999) describen una tendencia creciente en la fracción de C a medida que aumenta la edad de los árboles en plantaciones de *Gmelina arborea* Roxb., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Tectona grandis* L. En bosques de Chile, Gayoso y Guerra (2005) no encontraron una relación entre el diámetro y el contenido de C de la madera de 16 especies arbóreas nativas.

Evaluación de la línea base de stock de C y estimación de las tasas de fijación de carbono

Estimación de Biomasa arbórea aérea y Stock de Carbono

La biomasa arbórea aérea de los bosques estudiados osciló entre 52,13 y 111,82 t MS/ha (Tabla 14), arrojando un promedio de $92,68 \pm 23,13$ t MS/ha. La variabilidad observada se atribuye a la heterogeneidad estructural que presentan estos ecosistemas, dada por la densidad arbórea, la contribución de las especies a la densidad arbórea total y a su composición por clases diamétricas.

Tabla 14. Biomasa arbórea total y contribución porcentual por especie en bosques del Espinal entrerrriano

	Bosques					
	1	2	3	4	5	6
Densidad total (ind/ha)	650	490	330	620	440	386
Biomasa aérea arbórea (t MS/ha)	108,26	102,81	111,82	78,05	102,98	52,13
Biomasa relativa por especie (%)						
<i>P. nigra</i>	0	68,71	43,64	10,20	62,78	81,71
<i>P. affinis</i>	100	30,36	52,70	79,16	13,33	2,92
<i>V. caven</i>	0	0,74	3,65	10,63	23,89	16,24
<i>G. decorticans</i>	0	0	0	0	0	1,16
<i>A. quebracho blanco</i>	0	0	0	0	0	8,9

Donde MS: materia seca

Si bien la mayor densidad arbórea se registró en el Bosque 1 (650 individuos/ha), el mayor valor de biomasa total por hectárea correspondió al Bosque 3 dada su alta proporción de individuos de la Clase diamétrica V (más de 35 cm de d_{15}); clase que contribuyó con el 72,85% de la biomasa total. Asimismo, la alta proporción de individuos con d_{15} menor a 25 cm (clases I y II) en el Bosque 4, explica que su valor de biomasa total haya resultado el segundo más bajo a pesar de contar con una densidad total de 620 ind/ha. *P. nigra* aportó la mayor proporción de biomasa en tres de los bosques, contribuyendo con entre 75 y 81,71% del total. Por su parte, *P. affinis*, además de constituir el total de la biomasa presente en el Bosque 1; aportó más de la mitad de la biomasa del bosque en los Bosques 3 y 4. Esto concuerda con la descripción de las densidades relativas; que indicaba a esas dos especies como las que representaban la mayor proporción de individuos arbóreos. Excepto en el Bosque 1 que resultó una comunidad monoespecífica de *P. affinis*, la especie *V. caven* contribuyó a la biomasa en todos los bosques pero en ningún caso superó el 16,25%; dada su bajo aporte de densidad en los bosques 2; 3; 4 y 6. En el Bosque 5, aunque alcanzó el 56,82% de la densidad arbórea total, el 84% de esos individuos correspondieron a diámetros basales menores a 25 cm. La proporción de *P. nigra* resultó decisiva en el valor de biomasa no sólo porque fue la especie que presentó los valores diamétricos más altos, sino porque los modelos alométricos indican que a valores similares de diámetro, esta especie alcanza mayor biomasa individual.

En concordancia con la acumulación de biomasa, el stock de C estimado en los bosques varió entre 26,02 y 52,8 t/ha, arrojando un promedio de $43,99 \pm 10,43$ tC/ha. Este stock representa 161,44 t CO₂/ha capturado de la atmósfera para producir la actual biomasa. Estudios similares en otras regiones boscosas de América han informado sobre la gran variabilidad que existe en cuanto al stock de biomasa y C, fruto de los diferentes tipos de bosques presentes en el continente (Brown, 1997). En Brasil, Costa Rica y Guatemala, donde dominan los ecosistemas arbóreos tropicales, la revisión de Arreaga Gramajo (2002) recopila contenidos de biomasa arbórea que varían entre 112 y 563 t/ha. En coincidencia con estos datos, estudios en bosques tropicales de Colombia, han determinado en bosques primarios, una biomasa de 319 t MS/ha, correspondiendo a bosques secundarios, valores de 130 t MS/ha (Yepes et al., 2010). En Chile, la biomasa arbórea de bosques de coihue alcanza hasta 673 t MS/ha (Schlegel, 2001; Perez Quezada et al., 2015).

En Argentina, dada su amplia variabilidad ecológica, se han estimado valores de biomasa aérea de las tierras forestales de las distintas ecorregiones, que van desde 98,80 t MS/ha en el Parque Chaqueño, pasando por 172,87 y 266,24 t MS/ha para la Selva Tucumano Boliviana y la Selva Misionera respectivamente; y alcanzando las 540,20 t/ha en los bosques andino patagónicos (UMSEF 2007). Los valores de biomasa estimados en este Proyecto, resultan similares a los reportados por UMSEF para el Parque Chaqueño, lo cual resulta entendible dadas la semejanza ecológica del Espinal con esa región fitogeográfica.

Distintos autores han evaluado a mayor escala el contenido de biomasa y C en los ecosistemas boscosos de las ecorregiones argentinas (Gasparri y Mangui, 2004; Bonino, 2006; Gasparri et al., 2008; Manrique et al., 2011; Manrique y Franco, 2012; Gasparri y Baldi, 2013), en pos de atribuirles su valor como sumideros de C y su importancia en la mitigación de la emisión de GEI. Las estimaciones realizadas por Gasparri y Mangui en 2004 que integran el Informe PNUD (2008), y que fueron ajustadas años más tarde por el mismo equipo de trabajo mediante la utilización de ecuaciones alométricas más específicas, determinaron en el Parque Chaqueño un stock de 59,2 tC/ha; 182,9 tC/ha en Bosques Patagónicos y 139,3 tC/ha en las Yungas (Gasparri et al., 2008). En bosques del Chaco Árido, Conti et al. (2014) estimaron, en su estado más conservado, una biomasa vegetal aérea de 43,3 tC/ha. Manrique et al. (2011) confirman valores similares, arribando a un contenido de 48 tC/ha para el Chaco Salteño.

Tasa de Captura Anual de Carbono

Las tasas anuales de captura de C de los bosques variaron entre 0,53 y 0,95 tC/ha. El promedio resultó de $0,75 \pm 0,17$ tC/ha/año. Este valor de tasa de captura, indica que en promedio, 1 ha de bosque nativo

del Espinal entrerriano secuestra un total de 2,75 t CO₂/año, que representa a su vez potenciales emisiones de este GEI a la atmósfera en caso de deforestación.

Las tasas de capturas anuales de C resultaron más bajas en los bosques 1 y 4 (0,53 y 0,60 t/ha), a pesar de sus mayores valores de densidad arbórea. Esto podría estar relacionado con la mayor contribución de la especie *P. affinis* en sus clases diamétricas II (15-25 cm) y III (25-35 cm), que son las clases en las que se han determinado incrementos diamétricos relativamente bajos (Sione et al., 2011). El valor más alto de fijación anual de C correspondió al bosque 2, que presentó mayor proporción de individuos jóvenes, de la clase diamétrica I (<15 cm). Las clases I y II presentan valores altos de incremento anual de diámetro para *P. nigra*, *P. affinis* y *V. caven*; lo que estaría explicando un mayor ritmo de captura de C en el tejido vegetal. Para el bosque 3, con alta presencia de individuos de diámetros superiores a 35 cm, se estimaron valores intermedios de captura anual de C.

La captura anual de C es un indicador de la participación directa del ecosistema boscoso en la dinámica de los GEI. Diversos autores (Baral Malla y Ranabhat, 2009; Segura & Kanninen (2005); Fonam, 2005; Yquise et al.; 2012; Torres-Torres et al., 2017; Pompa-García y Sigala-Rodríguez, 2017) destacan la variabilidad que muestra la tasa anual de fijación de C de estos ecosistemas según el tipo de vegetación, localización geográfica, estado sucesional, condiciones de crecimiento, frecuencia y magnitud de disturbios. Un estudio de carácter regional como el de Poorter et al. (2016), estimó valores de hasta 3,06 tC/ha/año capturados por bosque secundarios tropicales de América. Por su parte, Casiano-Domínguez et al. (2018) en estudios de diferentes tipos de vegetación natural de México, han determinado tasas anuales de captura que varían entre 0,4 y 4,02 tC/ha para pastizales y bosques tropicales perennifolio. En bosques de altura de México, se han estimado valores de captura anual de 2 tC/ha; especialmente en comunidades arbóreas dominadas por *Polylepis* sp. (Spracklen y Righelato, 2014). Por su parte, Razo-Zárate et al. (2013) indican que la tasa de fijación de C por medio de procesos de fotosíntesis es más alta en rodales jóvenes que en rodales maduros, aunque el almacenamiento total de carbono en el sistema es mayor en los bosques maduros. Esto es explicado por Kraxner et al. (2003), quienes afirman que el potencial de fijación de C de un bosque es limitado, debido a su saturación y permanencia: cuando los bosques llegan a la madurez, bajo determinadas condiciones climáticas y de suelo, se ha alcanzado el máximo potencial de almacenamiento de carbono (en el supuesto de que no hayan sufrido intervenciones naturales o antrópicas). En base a este comportamiento, Manrique y Franco (2012) elaboran su propuesta de manejo de bosques de la provincia de Salta (Argentina) con aprovechamiento energético; que recomienda mantener poblaciones en constante recuperación de biomasa para cumplir con aquel objetivo de manejo y, a la vez, favorecer la captura de GEI.

En particular, para cuantificar el aporte de los bosques xerófilos de la Provincia Chaqueña en el secuestro de C, Gasparri y Mangui (2004) consideraron apropiado utilizar un valor de captura de 0,5 t C/ha. Sin embargo en Argentina resultan escasos los estudios que aborden la cuantificación de la tasa anual de captura de C en bosques nativos.

Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos durante los tres años de estudio, se destaca que:

- La biomasa aérea individual de *P. affinis* osciló entre 5,26 y 385,53 Kg MS en un rango de diámetro basal de 5 a 33,15 cm. En *V. caven* se determinó para individuos de 5 a 23,2 cm de d_{15} , valores de biomasa entre 2,68 y 190,49 Kg MS/individuo. Para individuos de *P. nigra* la biomasa determinada varió entre 5,07 y 654,11 Kg MS, para un rango de entre 5 y 41 cm de diámetro basal. En las tres especies, la mayor acumulación de biomasa se concentró en la fracción integrada por ramas pequeñas+ hojas + flores+ frutos, con valores de 41,9; 52,8 y 38,02% para *P. affinis*, *V. caven* y *P. nigra*, respectivamente.

- Los mejores modelos de biomasa aérea total para *P. affinis* se basaron en el área de copa, el dap y la altura total. El modelo de mejor ajuste (R^2 aj.=0,99) fue $\text{Ln}(Bt) = -2.01 + 0.02 * ac + 1.73 * \text{Ln}(dap) + 0.82 * \text{Ln}(h)$. El modelo simple $\text{Ln}(Bt) = -3.23 + 2.61 * \text{Ln}(d_{30})$ también tiene muy buena capacidad predictiva de biomasa aérea (R^2 aj.=0,97), lo que resulta en un modelo de gran practicidad para su aplicación en individuos bifurcados por debajo de 1.30 m, característica muy frecuente en esta especie.
- Los modelos de mejor ajuste para estimar la biomasa total de individuos de *V. caven* también se basaron en dap, área de copa y altura total. El mejor modelo (R^2 aj.=0,97) fue: $\text{Ln}(Bt) = -1,69 + 1,74 * \text{Ln}(dap) + 0,41 * \text{Ln}(ac)$. También para esta especie, se obtuvo una función de regresión simple basada en el diámetro basal $\text{Ln}(Bt) = -3,70 + 2,83 * \text{Ln}(d_{30})$, con muy buena capacidad predictiva.
- Para *P. nigra*, los modelos alométricos de mejor ajuste para estimar su biomasa aérea total tienen como predictoras a la variable combinada dap^{2*h} , el diámetro basal y la altura. El mejor modelo (R^2 aj.=0,99) fue: $\text{Ln}(Bt) = -2,96 + 0,45 * \text{Ln}(dap^{2*h}) + 1,46 * \text{Ln}(d_{30})$. Por su parte, las variables d_{30} y dap quedaron incluidas como variables explicativas en las regresiones simples por ser las variables de mayor correlación con la biomasa total. La función $\text{Ln}(Bt) = -2,86 + 2,60 * \text{Ln}(d_{30})$ resultó el modelo simple de mayor capacidad predictiva de biomasa aérea.
- Los FEB obtenidos resultaron significativamente mayores a los valores por defecto sugeridos por el IPCC para especies de hoja de bosques templados (1,15-3,2). Los FEB determinados resultaron diferentes según la especie arbórea. Los valores oscilaron entre 2,25 y 5,28 para *P. affinis* y entre 3,1 y 5,8 para *V. caven*. La variabilidad más alta se dio en *P. nigra*, en la que se determinaron FEB comprendidos entre 2,5 y 10,48. Para las tres especies, los FEB resultaron significativamente más altos en individuos con diámetros más grandes. Dada la variabilidad observada en los FEB de las tres especies evaluadas en individuos de diferentes diámetros, se sugiere utilizar los valores específicos por clase diamétrica a efectos de dar precisión a las estimaciones.
- La fracción de C promedio fue de 0,474; 0,477 y 0,481 para *P. affinis*, *V. caven* y *P. nigra*, respectivamente. En las tres especies, estos valores mostraron diferencias significativas entre los distintos componentes de la biomasa. En *P. affinis* y *P. nigra*, los mayores valores se determinaron en los fustes, mientras que el componente conformado por las ramas pequeñas+ hojas+flores +frutos fue el que presentó las mayores fracciones de C en *V. caven*. A su vez, la fracción de C en los fustes varió en función de d_{15} , resultando significativamente superior en individuos con diámetros mayores.

Teniendo en cuenta la distribución porcentual de la biomasa y las fracciones de C por componente estructural, se recomienda emplear en bosques nativos del Espinal entrerriano los siguientes valores de fracción ponderada de C: 0,472 para *P. affinis*; 0,478 para *V. caven* y 0,480 para *P. nigra*.

- En las tres especies, la fracción de C resultó inferior al valor por defecto sugerido por el IPCC (0,5), por lo que el empleo de este valor causaría sobrestimación del almacenamiento de C en estos bosques.
- Los bosques evaluados presentaron en promedio una biomasa arbórea aérea de $92,68 \pm 23,13$ t MS/ha. La variabilidad observada se atribuye a la heterogeneidad estructural que presentan estos ecosistemas, dada por la densidad arbórea, la contribución de las especies a la densidad total y a su composición por clases diamétricas. En estos bosques *P. affinis*, *V. caven* y *P. nigra* contribuyeron con más del 90% de la biomasa total.
- Los bosques nativos del Espinal entrerriano almacenan en promedio en su biomasa arbórea aérea un stock de C de $43,99 \pm 10,43$ t/ha, que representa $161,44$ t CO_2 /ha capturados de la atmósfera.

- La tasa promedio de fijación de C en estos ecosistemas resultó de $0,75 \pm 0,17$ tC/ha/año. Este valor indica que en promedio, 1 ha de bosque nativo del Espinal entrerriano secuestra un total de $2,75$ t CO₂/año.

La información generada aporta a la valoración del servicio ecosistémico que proveen los bosques nativos del Espinal entrerriano como secuestradores y fijadores de CO₂ atmosférico. A partir de este proyecto se cuenta con *modelos alométricos* de alta precisión, *factores de expansión de la biomasa* y *fracciones de carbono* para las especies arbóreas dominantes, los que constituyen herramientas imprescindibles para estimar el stock de C almacenado en estos ecosistemas y su variación temporal, como información de base para el diseño de estrategias de acción en el marco de la lucha contra el cambio climático. En este contexto, los resultados obtenidos evidencian lo prioritario que resulta la conservación de estos bosques frente a la deforestación y degradación. Es posible afirmar que la pérdida de 1 hectárea de bosque por deforestación representa emisiones próximas a las 162 tCO₂/ha, a la vez que deja de capturarse por año un total de $2,75$ tCO₂.

A partir de los resultados obtenidos se acepta la hipótesis que enuncia que es posible estimar el stock de C en el estrato arbóreo de bosques nativos del Espinal (Entre Ríos) y determinar su variación temporal. Asimismo se verifica que el almacenamiento de C difiere según el componente de la biomasa y la especie arbórea, tal como lo enuncia la segunda hipótesis. Se reunieron además evidencias suficientes para aceptar la tercera hipótesis, habiéndose observado una alta correlación entre el diámetro y la biomasa total y de fuste en las tres especies, si bien la altura de los individuos mostró una correlación moderada. Por otra parte, es posible aceptar la cuarta hipótesis que indica que el diámetro basal es la variable que mejor explica la biomasa aérea total de las especies arbóreas a evaluar. Sin embargo se observó que otras variables tales como el dap y el área de copa también se constituyen en muy buenas variables regresoras para explicar la biomasa total de individuos de las tres especies evaluadas.

Indicadores de Producción

Publicaciones con referato

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 Espinal native forests (Argentina). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23(6): 467-473.

SIONE, S.M.; LEDESMA, S.G.; ROSENBERGER, L.J.; OSZUST, J.D.; CARPP, I.A.; WILSON, M.G.; ANDRADE CASTAÑEDA, H.J. y M.C. SASAL. 2019. Fracción de carbono en la biomasa de *Prosopis affinis* Sprengel. en un bosque nativo del Espinal (Argentina). *Agronomía & Ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 39 (1): 6-15.

SIONE, S.M.; LEDESMA, S.G.; ROSENBERGER, L.J.; OSZUST, J.D.; ANDRADE CASTAÑEDA, H.J.; MACIEL, G.O.; WILSON, M.G. Modelos alométricos de biomasa para *Vachellia caven* Mol. (Mol.) en bosques nativos del Espinal (Argentina). *Revista Quebracho* 28 (1,2): 20-33.

SIONE, S.M.; LEDESMA, S.G.; ROSENBERGER, L.J.; OSZUST, J.D.; ANDRADE CASTAÑEDA, H.J.; MACIEL, G.O.; WILSON, M.G. y SASAL, M.C. Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. en bosques de Entre Ríos (Argentina). *Agronomía & Ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía UBA* 40 (1): 63-76..

Presentaciones en Jornadas y Congresos Nacionales

- SIONE, S.M. y Ledesma, S.G. 2016. Cambio Climático: ¿qué papel juegan los bosques?
Modalidad: Charla Presentado en: XIV Semana Nacional de la Ciencia, la Tecnología y el Arte Científico Organizada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.
Lugar y Fecha: Oro Verde (Entre Ríos), 14-15 Setiembre 2016.
- SIONE, S.M.; Ledesma, S.G.; Rosenberger, L.J.; Wilson, M.G.; Sasal, M.C.; Oszust, J.D.; Andrade Castañeda, H.J. y R. Sabattini. 2016. Stock de carbono en especies arbóreas del Espinal entrerriano
Modalidad: Poster
Presentado en: XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos
Lugar y Fecha: Concordia, 29-30 Setiembre 2016.
- SIONE, S.M.; Ledesma, S.G.; Rosenberger, L.J.; Oszust, J.D.; Carpp, I.A.; Wilson, M.G.; Sasal, M.C. y Andrade Castañeda, H.J. 2017. Partición de la biomasa aérea por componente estructural en individuos de *Prosopis affinis* Spreng.
Modalidad: Exposición oral (a cargo de Dra. Sione)
Presentado en: X Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas y VIII Reunión de Extensión
Lugar y Fecha: Oro Verde (Entre Ríos), 8 Junio 2017.
- SIONE, S.M.; Ledesma, S.G.; Andrade Castañeda, H.J.; Rosenberger, L.J.; Oszust, J.D.; Carpp, I.A.; Wilson, M.G. y Sasal, M.C. 2017. Modelaje de la biomasa aérea individual de *Prosopis affinis* Spreng., en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos)
Modalidad: Poster
Presentado en: XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos
Lugar y Fecha: Concordia, 5-6 Octubre 2017.
- CARPP, I.A.; Sione, S.M.; Ledesma, S.G.; Oszust, J.D. y Rosenberger, L.J. 2017. Factores de expansión de la biomasa de *Prosopis affinis* Spreng., como herramienta para la estimación del Carbono almacenado en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina).
Modalidad: Poster
Presentado en: XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos
Lugar y Fecha: Concordia, 5-6 Octubre 2017.
- SIONE, S.M. y Ledesma, S.G. 2018. Cambio Climático: qué papel juegan los bosques?
Modalidad: Charla
Presentado en: XV Semana Nacional de la Ciencia, la Tecnología y el Arte Científico Organizada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.
Lugar y Fecha: Oro Verde (Entre Ríos), 05 Setiembre 2018.
- SIONE, S.M.; Wilson, M.G.; Andrade, H.J.; Rosenberger, L.J.; Sasal, M.C.; Gabioud, E.A. 2018. El servicio ambiental de los bosques nativos como fijadores de carbono. El caso del Espinal entrerriano.
Modalidad: Poster
Presentado en: Primera Jornada Nacional de Evaluación integrada de la desertificación: Enfoques y metodologías socioambientales
Lugar y Fecha: Mendoza, 25-26 Setiembre 2018.
- SIONE, S.M.; Ledesma, S.G.; Rosenberger, L.J.; Oszust, J.D.; Carpp, I.A.; Wilson, M.G.; Andrade, H.J., Sasal, M.C. 2018. Fracción de carbono en *Prosopis affinis* Spreng. en un bosque nativo del Espinal bajo uso silvopastoril.
Modalidad: Poster
Presentado en: IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles.
Lugar y Fecha: Villa la Angostura, 31 Octubre-02 Noviembre 2018.

SIONE, S.M.; Ledesma, S.G.; Rosenberger, L.; Oszust, J.D.; Maciel, G.O.; Wilson, M.G.; Sasal, M.C. 2019. Partición de la biomasa individual por componente estructural en *Vachellia caven* Mol. Molina.

Modalidad: Poster

Presentado en: Reunión de Comunicaciones Científicas, de Extensión y Docencia 2019.

Lugar y Fecha: FCA UNER, Oro Verde, 12 de Junio 2019.

MACIEL, G.O.; Sione, S.M.; Ledesma, S.G.; Rosenberger, L.; Oszust, J.D. 2019. Factores de expansión de la biomasa de *Vachellia caven* Mol. Molina como herramienta para la estimación del carbono almacenado en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina).

Modalidad: Oral

Presentado en: Reunión de Comunicaciones Científicas, de Extensión y Docencia 2019.

Lugar y Fecha: FCA UNER, Oro Verde, 12 de Junio 2019.

Presentaciones en Jornadas y Congresos Internacionales

Sione, S.M.; Wilson, M.G.; Andrade, H.J.; Rosenberger, L.J.; Sasal, M.C.; Gabioud, E.A. 2018. Carbono almacenado en la biomasa arbórea de los bosques nativos del Espinal (Argentina).

Modalidad: oral (Disertante: S. Sione)

Presentado en: VIII Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo UMS 2018.

Lugar y Fecha: La Coruña (España), 26-28 Junio 2018.

Sione, S.M.; Ledesma, S.G.; Andrade-Castañeda, H.J.; Rosenberger, L.J.; Oszust, J.D. y G.O. Maciel. Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea individual de *Vachellia caven* (Mol.) Mol. en bosques nativos del Espinal (Argentina).

Resumen ACEPTADO para su presentación en el Congreso Forestal Mundial IUFRO 2019.

Lugar y fecha: Congreso realizado en Curitiba (Brasil), del 29 Setiembre al 5 Octubre 2019.

*Por cuestiones presupuestarias no se pudo asistir al evento.

Sione, S.M.; Andrade, H.J.; Wilson, M.G.; Ledesma, S.G.; Rosenberger, L.; Sasal, M.C. 2019. Reducción de las emisiones de carbono por deforestación evitada en bosques de Entre Ríos, Argentina.

Modalidad: Poster

Presentado en: IX Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo UMS 2019.

Lugar y Fecha: Paraná-Santa Fe, 19-21 Noviembre 2019.

Bibliografía

ARREAGA Gramajo, WE. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo florestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, CR. 73.

ANDRADE, H.J., M.A. Segura y L.A. Forero. 2014. *Desarrollo de modelos alométricos para volumen de madera, biomasa y carbono en especies leñosas perennes: conceptos básicos, métodos y procedimientos*. Sello Editorial Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. 48 p.

ANDRADE, H.J., M.A. Segura, M. Feria and W. Suárez. 2016. Above-ground biomass models for coffee bushes (*Coffea arabica* L.) in Líbano, Tolima, Colombia. *Agroforestry Systems* DOI 10.1007/s10457-016-0047-4.

BARAL, S., Malla, R., & Ranabhat, S. (2009). Above-ground carbon stock assessment in different forest types of Nepal. *Banko Janakari*, 19(2), 10-14. <https://doi.org/10.3126/banko.v19i2.2979>

BAUTISTA-HERNÁNDEZ, J. and J.A. Torres-Pérez. 2003. Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1), p. 69-75.

- BERT, D. and Danjon, F. (2006). Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). *Forest Ecology and Management*, 222, 279–295.
- BIRDSEY, R. and Heath, L.S. (2001). Forest inventory data, models and assumptions for monitoring carbon flux. In: Soil Science Society of America (Ed.), *Soil carbon sequestration and the greenhouse effect* (pp. 125-135). Madison, USA: Soil Science Society of America.
- BONINO, E.E. (2006). Changes in carbon pools associated with a land-use gradient in the dry Chaco, Argentina. *For. Ecol. Manage*, 223, 183–189.
- BROWN, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Forest Resources Assessment Publication. *Forestry Papers*, 134. FAO, Rome, 55 pp.
- BROWN, S. y Lugo, A. (1982). The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotrópica*, 14, 164-187.
- CABRERA, A.L. 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas*. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. 12a. Edición. Tomo II, Fas. I. Ed. ACME. S.A.C.I. BS. As. 85 p.
- CASIANO-DOMINGUEZ, M.; Paz-Pellat, F.; Rojo-Martinez, M.; Covalada-Ocon, S. y D. Raj Aryal. (2018). El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación en México. *Madera y Bosques* 24 doi: 10.21829/myb.2018.24018941
- CONTI, G., Coirini, R. & Zapata, R. (2008). Funciones de Estimación de Volumen de *P. nigra var. ragonesei* (algarrobo amarillo) en un Bosque del Espinal Santafesino. *Ciencia*, 3(7), 39-51.
- CONTI, G.; Pérez-Harguindeguy, N.; Quétier, F.; Gorné, L.D.; y P. Jaureguiberry. (2014). Large changes in carbon storage under different land-use regimes in subtropical seasonally dry forests of southern South America. *Agriculture, ecosystems & environment*, 197, 68-75.
- CUBERO, J. y Rojas, S. (1999). *Fijación de carbono en plantaciones de melina (Gmelina arborea Roxb.), teca (Tectona grandis L.f.) y pochote (Bombacopsis quinata Jacq.) en los cantones de Hojanca y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica*. (Tesis de grado). Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- CHÁVEZ-PASCUAL, E.Y.; Rodríguez Ortiz, G.; Carrillo Rodríguez, J.C.; Enriquez del Valle, J.R.; Chávez Servia, J.L. y Campos Angeles, G.V. (2013). Factores de expansión de biomasa aérea para *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6, 1273-1284.
- DE PETRE, A., Karlin, O., Ali, S. y Reynero, A. (2006). Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal, Área Captura de Carbono. Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos N4085-AR. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Argentina. Recuperado de <file:///D:/Usuarios/msnfg/Descargas/Captura-de-carbono.pdf>.
- DOMÍNGUEZ-CABRERA, G., O.A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, R. Rodríguez-Laguna y J.A. Díaz-Balderas. 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1), p. 59-64.
- FAO (2015). *Global Forest Resources Assessment 2015*, desk reference. Rome. p. 1-245.
- FONAM. Fondo Nacional del Ambiente (2005). Boletín CO₂ comercio Oportunidades del Mercado de Carbono, 2005. (En línea) Disponible en: <http://www.fonamperu.org/-general/mdl/documentos/guia%20MDL.pdf>
- FONSECA, W., F. Alice and J.M. Rey. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1), p. 36-47
- FURNIVAL, G. M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* 7(4), p. 337-341.
- GAILLARD DE BENÍTEZ, C., M. Pece, M. Juárez de Galíndez, A. Maldonado, V.H. Acosta y A. Gómez. 2000. Biomasa aérea de ejemplares de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco. *Quebracho* 9, p. 115-127.

- GAILLARD DE BENÍTEZ, C., M. Pece, M. Juárez de Galíndez y V.H. Acosta. 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), p.17-29
- GASPARRI, N., Baldi, G. (2013). Regional patterns and controls of biomass in semiarid woodlands: lessons from the northern Argentina dry Chaco. *Reg. Environ. Change*, 1-14.
- GASPARRI, I., & Manghi, E. (2004). Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas. Argentina: Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal.
- GASPARRI, N., Grau, H., Manghi, E. (2008). Carbon pools and emissions from deforestation in extra-tropical forests of northern Argentina between 1900 and 2005. *Ecosystems* 11, 1247-1261.
- GAYOSO, J. y Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*, 26(2), 33-38.
- GOWER, S. T. (2003). Patterns and mechanisms of the forest carbon cycle. *Annual Review Environmental Resources*, 28, 169-204.
- HUSCH B, CI Miller, TW Beers. 1971. *Forest mensuration*. Second Edition. Ed. John Wiley & Sons. 410 p.
- IGLESIAS, M. y A.H. Barchuk. 2010. Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral* 20, p. 71-79.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. (1996). *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. London, England.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. (2006). Capítulo 2: Metodologías Genéricas Aplicables a las Múltiples Categorías de Uso de la Tierra. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 4. Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf (accessed 10.03.2017)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. Intergovernmental Panel Climate Change (2007). *Climate Change 2007. Mitigation. Technical Summary. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge, UK and New York, USA, Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. (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.)]*. Geneva, Switzerland. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf.
- JONES, D. A., and O'Hara, K. L. (2016). The influence of preparation method on measured carbon fractions in tree tissues. *Tree Physiology*, 36, 1177-1189.
- KRAXNER, F.; Nilsson, S. y M. Obersteiner. 2003. Negative emissions from BioEnergy use, carbon capture and sequestration (BECS)—the case of biomass production by sustainable forest management from semi-natural temperate forests. *Biomass and Bioenergy* Volume 24 Issues 4-5 285-296.
- LEDESMA, M.; C.A. Carranza y M.Balzarini (2010). Estimación de la biomasa foliar de *Prosopis flexuosa* mediante relaciones alométricas. *Agriscientia* 27(2), 87-96.
- LEÓN DE LA LUZ, J.L., R. Domínguez y S. Díaz Castro. 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, p.1732.
- LOETSCH, F; Zohrer, F; Haller, KE. 1973. *Forest inventory*. Munich, DE, BLV Verlagsgesellschaft. 469 p.
- Ma, S., He, F., Tian, D., Zou, D., Yan, Z., Yang, Y., Zhou, T., Huang, K., Shen, H., and Fang, J. (2017). Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis, *Biogeosciences Discuss*, in review. Recuperado de <https://doi.org/10.5194/bg-2017-322>.

- MANRIQUE, S., Franco, J., Núñez, V., Seghezze, L. (2011). Potential of native forests for the mitigation of greenhouse gases in Salta, Argentina. *Biomass Bioenerg.* 35, 2184–2193.
- MANRIQUE, S.; Franco, J.; Nuñez, V. (2012). Biomass feedstock availability for the supply of bioenergy in Lerma Valley (Salta, Argentina): an evaluation for energy territorial planning” *American Journal of Biomass and Bioenergy* 3, 34 – 57.
- MARTIN, A. R., and Thomas, S. C. (2011). A reassessment of carbon content in tropical trees. *Plos One*, 6 (8), e23533. Recuperado de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0023533>.
- MÉNDEZ GONZÁLEZ J.; A. Santos Méndez; J. A. Nájera Luna y V. González Ontiveros. 2006. Modelos para estimar volumen y biomasa de árboles individuales de *Prosopis glandulosa* var *torreyana* en el Ejido Jesús González Ortega N°1, Municipio de Mexicali B.C. *Agrofaz* 6(2), p. 225 -239.
- MONTOYA GIMÉNEZ (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, p. 45-52.
- NAVARRO CECILIANO, M., Moya, R., Chazdon, R., Ortiz, E. y Vilchez, B. (2013). Successional variation in carbon content and wood specific gravity of four tropical tree species. *Bosque*, 34(1), 33-43.
- PEÑUELAS, J.; Lluís, J. (2003). Emisiones biogénicas de COVs y cambio global. ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático? *Ecosistemas*, 1, 1-7.
- PEARSON TRH, Brown S, Ravindranath NH (2005) Integrating Carbon Benefit Estimates into GEF Projects. United Nations Development Programme, Global Environment Facility.
- PEREZ-QUEZADA J., Olguín, S.; Fuentes J. P.; Galleguillos M. (2015). Tree carbon stock in evergreen forests of Chiloé, Chile. *Bosque* 36(1), 27-39.
- POMPA-GARCÍA, M. y J.A. Sigala-Rodríguez. 2017. Variation of carbon uptake from forest species in Mexico: a review. *Madera y Bosques* 23 (2), 225-235
- POORTER, L.; Bongers, F.; Aide, M. et al. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*. doi:10.1038/nature16512
- 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_fre_l_argentina.pdf
- RAZO-ZÁRATE; R.; Gordillo-Martinez, A.; Rodriguez-Laguna, R.; Maycotte-Morales, C. y O. Acevedo-Sandoval. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México. *Madera y Bosques* 19(2), 73-86 73
- RISIO ALLIONE, L., F. Bravo y S. Bogino. 2012. Cuantificación de biomasa y carbono en bosques nativos de *Prosopis caldenia* (Burkhart) en la pampa semiárida argentina [en línea] Disponible en: <<http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/1593/1/TFM-L%2043.pdf>>
- RODRIGUES, D. P., Hamacher, C., Estrada, G. C. D., and Soares, M. L. G. (2015). Variability of carbon content in mangrove 303 species: Effect of species, compartments and tidal frequency. *Aquatic Botany*, 120, 346-351.
- RÜGNITZ, M.T., Chacó, M.L. & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Manual Técnico N° 11. Lima. Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).
- SCHLEGEL, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2001. *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076. Chile.15 p.
- SEGURA, M. and M. Kanninen. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Revista Biotropica* 37(1), p. 2-8.
- 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. M. & Návar Ch., 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.; Sabattini, R.; Ledesma, S. y A. Dorsch. (2011). Incremento anual de área basal de *Prosopis nigra* Griseb.; *Prosopis affinis* Sprengel y *Acacia caven* (Mol.) Molina, en función de la densidad arbórea y la estructura de clases diamétricas, en bosques nativos de Entre Ríos. *Revista Yvyrareta* 18,1-8.
- SOMOGYI, Z., E. Ciencia, P. Muukkonen, A. Lehtonen and P. Weiss. 2006. Indirect methods of large scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research* 3, p.11-13.
- SPRACKLEN, D.V. y R. Righelato. 2014. Tropical montane forests are a larger than expected global carbon store. *Biogeosciences* 11, 2741–2754.
- StatPoint Technologies Inc. Statgraphics Centurion. Warrenton: StatPoint Technologies Inc., 2010. sp
- THOMAS, S. C., and Martin, A. R. (2012). Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. *Forests*, 3, 332-352.
- TORRES-TORRES, J.; Mena-Mosquera, V. y E. Álvarez-Dávila. 2017. Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. En: *Entramado*. Enero - Junio, 2017. vol. 13, no. 1, p. 200-209 <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25110>
- UMSEF. Unidad del Sistema de Evaluación Forestal (2007). *Monitoreo de la superficie de bosque nativo de Argentina*. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires, Argentina.
- UMSEF. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal. 2017. Informe de monitoreo de la superficie de bosque nativo de la República Argentina. Dirección de bosques. MAyDS. p.7-13.
- YEPES, A. P., del Valle, J. I., Jaramillo, S. L., & Orrego, S. A. 2010. Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 58 (1): 427-445
- YERENA Yamallel., J. I., Jiménez P., Aguirre C. y Treviño G. (2012). Contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque*, 33(2),145-152. doi: 10.4067/S0717-92002012000200004.

PID 2182

Denominación del Proyecto

Stock de carbono en especies arbóreas del espinal entrerriano

Directora

Silvana María José SIONE

Co-directora:

Silvia Gabriela LEDESMA

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Contacto

silvana.sione@fca.uner.edu.ar

Cátedra, Área o disciplina científica:

Cátedra de Ecología de los Sistemas Agropecuarios (Departamento Ciencias de la Tierra)

Instituciones intervinientes públicas o privadas:

Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Ruta 11 km 10.5 (3101) Oro Verde, Entre Ríos.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Paraná. Ruta 11 Km 12.5 (3101) Oro Verde, Entre Ríos.

Universidad del Tolima - Facultad de Ingeniería Agronómica. Barrio Santa Helena parte alta AA 546, Ibagué, Colombia

Convenios o acuerdos debidamente acreditados:

ACTA ACUERDO FCA-UNER Y EEA INTA PARANÁ para la ejecución del Proyecto PID UNER N° 2182 "Stock de carbono en especies arbóreas del Espinal entrerriano".

N° Nota: DOCU_FCAG_UER: 2197/2016

Convenio Marco: INTA – UNER (11/07/2001)

Integrantes del proyecto:

Docentes: ROSENBERGER, Leandro Javier; OSZUST, José Daniel; SABATTINI, Rafael Alberto.

Integrantes Externos: ANDRADE CASTAÑEDA, Hernán Jair; WILSON, Marcelo Germán; SASAL, María Carolina.

Becarios: Ignacio Alejandro CARPP Facultad de Cs Agropecuarias UNER Período: 01/11/2016 (Resolución "C.D." N° 8320/16) hasta 13/03/2018 (renuncia por motivos laborales)

Gabriel Omar MACIEL Facultad de Cs Agropecuarias UNER Período: 01/06/2018 (Resolución "C.D." N° 8917/2018) hasta 16/08/2019 (fecha original de finalización del proyecto)

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

17/08/2016 y 16/02/2020

Resolución "C.S." de aprobación informe final: 031/21 (02/06/2021)