

## FRACCIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA DE *Prosopis affinis* SPRENGEL (FABACEAE) EN UN BOSQUE NATIVO DEL ESPINAL (ARGENTINA)

Silvana M. Sione<sup>1</sup>; Silvia G. Ledesma<sup>1</sup>; Leandro J. Rosenberger<sup>1</sup>; José D. Oszust<sup>1</sup>;  
Ignacio A. Carpp<sup>1</sup>; Marcelo G. Wilson<sup>2</sup>; Hernán J. Andrade-Castañeda<sup>3</sup> y María C. Sasal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta 11 km 10.5. 3101. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Paraná. Ruta 11 km 12.5. 3101. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Agronómica - Universidad del Tolima. Barrio Santa Helena parte alta AA 546, Ibagué, Colombia  
E-mail: silvana.sione@fca.uner.edu.ar

Recibido: 14/09/2018

Aceptado: 07/03/2019

### RESUMEN

La estimación del carbono (C) almacenado en la biomasa forestal requiere información precisa acerca de la fracción de C por especie y por componente de la biomasa. Nuestro objetivo fue estimar la fracción de C en los diferentes componentes aéreos de la biomasa del ñandubay (*Prosopis affinis*) y su variación por clase diamétrica en un bosque nativo del Espinal (Entre Ríos, Argentina). En 30 individuos de cinco clases diamétricas diferentes, se estimó la fracción de C en tres componentes: fustes (F), ramas grandes (RG), y ramas pequeñas+hojas+flores+frutos (RPHFF). Las fracciones medias de C evidenciaron diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) entre componentes, correspondiendo el menor valor a RPHFF (0,457). El mayor contenido de C correspondió a los F, el que no difirió estadísticamente de las RG (0,485 y 0,482, respectivamente). El valor medio de la fracción de C fue de  $0,474 \pm 0,023$ . Considerando la distribución de la biomasa individual en los diferentes componentes y la fracción de C de cada uno, se obtuvo una fracción promedio ponderada de  $0,472 \pm 0,013$ . Las fracciones de C mostraron diferencias significativas entre las diferentes clases diamétricas ( $p < 0,05$ ) solamente en los F, correspondiendo los mayores valores a los individuos con diámetros superiores a 20 cm. Los valores obtenidos en este trabajo resultan inferiores al valor por defecto de 0,50 sugerido por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). La información generada constituye una herramienta que aporta precisión a las estimaciones del C almacenado y de las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por la deforestación y degradación de los bosques nativos del Espinal entrerriano.

**Palabras clave:** contenido de carbono, ecosistemas boscosos, especie arbórea nativa, servicio ambiental

## CARBON FRACTION IN THE BIOMASS OF *Prosopis affinis* SPRENGEL (FABACEAE) IN A NATIVE FOREST OF THE ESPINAL (ARGENTINA)

### SUMMARY

Estimation of carbon (C) stored in forest biomass requires accurate information of the C fraction for species and components of tree biomass. Our aim was to determine the C fraction in the biomass components of the ñandubay tree (*Prosopis affinis*), and its variation by diameter class, in a native forest of Espinal (Entre Ríos, Argentina). The C fraction was analyzed in the components of the above-ground biomass (trunks, T; large branches, LB; and small branches+leaves+flowers+fruits, SBLFF), on 30 individuals of five different diameter classes. There were highly significant differences ( $p < 0,01$ ) between the biomass components, and the lowest C fraction was found in SBLFF (0,457). The component with the highest carbon concentration was T, although it did not differ significantly of the LB (0,485 and 0,482, respectively). The mean value of the C fraction was  $0.474 \pm 0,023$ . Considering the biomass

partitioned by component, and the C fraction of each, the weighted average C fraction was  $0,472 \pm 0,013$ . The C fraction of T showed significant statistical differences ( $p < 0,05$ ) between diameter classes; the highest values were found in individuals with trunk diameters larger than 20 cm. The values obtained in this study are lower than the default value suggested by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (0,50). Information obtained is a tool that provides precision to the estimation of stored C and CO<sub>2</sub> emissions from deforestation and degradation of the Espinal native forests of Entre Ríos province.

**Key words:** carbón content, forest ecosystems, native tree species, environmental service

## INTRODUCCIÓN

Los bosques nativos y los sistemas agroforestales juegan un rol preponderante en el ciclo global del carbono (C), regulando el intercambio gaseoso entre la biomasa vegetal, el suelo y la atmósfera. Se estima que los bosques acumulan más del 45% del C en la biosfera y representan casi la mitad de la producción primaria neta terrestre (Yang *et al.*, 2014). El servicio ambiental que proveen estos ecosistemas como secuestradores de dióxido de C (CO<sub>2</sub>) contribuye a mitigar el efecto invernadero al reducir la concentración de este gas en la atmósfera (Vashum *et al.*, 2012).

En las últimas décadas, el cambio en el uso del suelo ha sido señalado como una de las principales causas del calentamiento global. En este contexto, la degradación y conversión de los bosques a otro tipo de coberturas ha contribuido significativamente al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero o GEI (van der Werf *et al.*, 2010; IPCC, 2014). En Entre Ríos (Argentina) el área de bosque nativo corresponde a la Provincia Fitogeográfica del Espinal, Distrito del Ñandubay (Cabrera, 1976). Asociado al avance de la frontera agrícola, se ha registrado un proceso de reducción, fragmentación y degradación florística y estructural de los bosques, estimándose en el año 2005 una superficie de 855.000 ha (Muñoz *et al.*, 2005). Estudios recientes estiman que la pérdida de masas boscosas en esta provincia se

ha producido a una tasa anual media de -1,07% (Sabattini *et al.*, 2016).

En la Argentina, el proceso de pérdida y degradación de los bosques nativos condujo al gobierno nacional a regular el uso de estos ecosistemas en función de su valor de conservación, a través de la Ley N° 26331/07 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos. Por su parte, la provincia de Entre Ríos adhiere a esta legislación a través de la Ley N° 10284/14, mediante la cual ordena sus bosques. En el artículo 1, la ley nacional establece los presupuestos mínimos para "...el enriquecimiento, restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos, y de los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad". Entre sus principales objetivos, contempla el mantenimiento de estos ecosistemas por sus "...beneficios ambientales o por los daños ambientales que su ausencia generase, aun cuando éstos no puedan demostrarse con las técnicas disponibles en la actualidad". A ese respecto, la presente investigación aporta una herramienta de utilidad para la valoración del servicio que proveen los bosques nativos de Entre Ríos en la captura y fijación de CO<sub>2</sub>.

La importancia de los bosques como fijadores de C puede ser confirmada a partir de la estimación de la biomasa forestal (Gower, 2003). 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 co-

nocer 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 predefinido 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.

Diversos estudios han demostrado la variabilidad de la fracción de C según la especie y el tejido arbóreo (Figueroa *et al.* 2005; Gayoso y Guerra, 2005; Avendaño *et al.* 2009; Zhang *et al.*, 2009; Fonseca *et al.*, 2011; Yereña Yamallel *et al.*, 2012), o según el tamaño del árbol y la edad (Williamson y Wiemann, 2010). Gifford (2000) señala que la fracción de C dependerá de la proporción de compuestos como la lignina y los minerales inorgánicos, y dado que éstos varían entre los diferentes tejidos del árbol, es esperable que los componentes del árbol presenten distintos contenidos de C. Sin embargo, la variación de la fracción de C por especie y por componentes del árbol ha sido escasamente documentada en la Argentina y en otros países de la región.

*Prosopis affinis* (Spreng.), comúnmente denominada ñandubay, es una especie arbórea de la Familia Fabaceae, de tipo fotosintético C<sub>3</sub>, dominante en los bosques nativos del Espinal entrerriano. Su madera, por su gran dureza, peso y durabilidad, es utilizada para construcciones rurales y para postes, entre

otros usos. Los frutos tienen glucósidos que le confieren aptitud forrajera (Tortorelli, 1956). Ledesma *et al.* (2007) determinaron densidades relativas de 20 a 45% de esta especie en áreas representativas del Espinal entrerriano (Dptos. Federal, La Paz y Paraná), con aportes de 21 a 46% al área basal total. Por su parte, en un relevamiento de bosques nativos realizado a nivel de cuenca en el departamento de La Paz, se observó una mayor frecuencia de bosques estables (59,09%), con *P. affinis* y *P. nigra* como especies arbóreas dominantes (Sabattini *et al.*, 2016).

Es necesario desarrollar investigaciones tendientes a establecer bases metodológicas para la estimación del C capturado y el inventario de esta variable. Generar información local sobre el contenido de C de las especies arbóreas dominantes aportaría precisión a las estimaciones del C almacenado y de las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por la deforestación y degradación de los bosques nativos del Espinal, a efectos de valorar su servicio ambiental como fijadores de C.

En función de lo expuesto, se plantea como hipótesis de trabajo que la fracción de C de la biomasa aérea de *P. affinis*, especie arbórea dominante de los bosques de Entre Ríos, varía en función de los componentes aéreos y del tamaño de los individuos (clases diamétricas).

## OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue estimar la fracción de C en los diferentes componentes aéreos de la biomasa de *Prosopis affinis*, y su variación por clase diamétrica, en un bosque nativo del Espinal (Entre Ríos, Argentina).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se efectuó en el área de bosques nativos del Departamento Paraná (Entre Ríos, Argentina) correspondiente a la provincia fi-

togeográfica del Espinal, Distrito del Ñandubay (Cabrera, 1976). El clima es templado húmedo de llanura, con una amplitud térmica de 13 °C y una media diaria anual de 18,5 °C, que varía entre 25,0 °C en enero y 12,0 °C en julio. Presenta suelos correspondientes a los órdenes Vertisoles, Molisoles y Alfisoles (Plan Mapa de Suelos de la provincia de Entre Ríos, 1997). El sitio donde se efectuó el estudio presenta Hapludertes típicos, caracterizados por un horizonte argílico (con predominio de arcillas montmorilloníticas) de permeabilidad lenta. La comunidad vegetal clímax es un bosque dominado por *P. affinis*, acompañados de *Vachellia caven* Mol. Molina, *Prosopis nigra* Griseb. y *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm. La densidad arbórea promedio es de 1112 individuos ha<sup>-1</sup>, con un 69% aportado por *P. affinis*.

Los bosques de la región están caracterizados por su heterogeneidad fisonómica-estructural, resultante de las condiciones ecológicas, el proceso sucesional y la historia de uso y manejo al que han sido sometidos. Estos bosques se han destinado 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 (Ledesma *et al.*, 2007).

### **Muestreo de individuos**

Se llevó a cabo un inventario preliminar en 6 parcelas de 15 m de radio, en una superficie de 42 ha de bosques nativos. La información obtenida fue utilizada para describir la estructura diamétrica de la población de *P. affinis* y seleccionar los individuos a muestrear, de forma que representen el rango de tamaños encontrados en el área de estudio. Se seleccionaron 30 individuos según lo recomendado por Segura y Andrade (2008), los que fueron distribuidos en cinco clases diamétricas: 5-10; 10,1-15; 15,1-20; 20,1-25 y >25 cm de diámetro, evaluándose seis individuos por clase diamétrica. La selección de individuos se realizó teniendo en cuenta los siguientes

criterios: posición social (árboles dominantes), calidad del fuste (sin deformaciones), copa bien desarrollada y vitalidad (árboles sanos y vigorosos). La medición de diámetros del tronco (a 15 cm desde el nivel del suelo,  $d_{15}$ ) se realizó con una forcípula Mantax, efectuándose dos mediciones en forma perpendicular, y promediando estos valores.

En febrero de 2017, coincidente con la etapa fenológica de máxima expresión del follaje de la especie, se procedió al apeo de los individuos seleccionados. 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 ≤5 cm) + *hojas* + *flores* + *frutos* (RPHFF). El peso húmedo de cada componente se determinó en el campo, pesando el material en fresco con una balanza de gancho de 300 ± 0,1 kg. La estimación de la materia seca se realizó mediante la extracción de submuestras. Del fuste se seleccionaron tres rodajas (basal, central y superior), de las ramas grandes se tomaron cinco rodajas de diferente diámetro, y de la fracción ramas pequeñas + hojas, flores y frutos, otras tres submuestras de ~ 250 g. Las submuestras fueron pesadas en el campo con una balanza de precisión (resolución 0,1 g). Posteriormente, se colocaron en la estufa de secado a 105 °C de temperatura hasta peso constante para estimar el factor de conversión de la biomasa de cada componente y afectarlo al peso húmedo. La biomasa aérea total de cada individuo fue calculada como la suma de la materia seca de todos los componentes (Sione *et al.*, 2019).

### **Análisis de la fracción de C**

Luego del secado en estufa, las submuestras fueron molidas y mezcladas para obtener muestras compuestas de cada componente. Posteriormente, se realizó el tamizado de las muestras, utilizándose tamices de apertura

de malla de 0,5 mm. De cada individuo arbóreo se obtuvieron tres muestras (una por componente) para la determinación del C, analizándose 90 muestras (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 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (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 la especie, considerando la contribución porcentual de cada componente arbóreo a la biomasa aérea individual y sus diferentes contenidos de C.

### **C almacenado en la biomasa individual ( $C_{ind}$ )**

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.

### **Análisis estadístico**

Se analizaron las fracciones de C mediante un análisis de varianza, una vez comprobada la normalidad de los datos (test de Shapiro-Wilk). Se aplicó la prueba de comparación de medias de Fischer ( $\alpha=0,05$ ) entre los valores de fracción de C por componente y clases diamétricas.

Se estimó el coeficiente de correlación de Pearson entre el C almacenado en la biomasa individual ( $\text{kg árbol}^{-1}$ ) y el  $d_{15}$ , se utilizó. Una vez determinada la correlación, se aplicó un análisis de regresión con el fin de desarrollar modelos matemáticos que permitan estimar el almacenamiento de C en función del  $d_{15}$ . Se verificó la normalidad y homogeneidad de las

variancias aplicando test de sesgo y curtosis estandarizada, y las variables no normales fueron transformadas. La selección de modelos se efectuó utilizando los siguientes indicadores de ajuste:  $R^2_{aj}$  ( $R^2$  ajustado), error absoluto medio (EAM) y el cuadrado medio del error (CME). Los análisis estadísticos fueron realizados con el software Statgraphics Centurion XVI ® (version 16.1).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Fracción de C por componente de la biomasa aérea**

La fracción de C promedio para *P. affinis* 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 RPHFF presentó una fracción de C significativamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) respecto a los otros componentes. El mayor valor promedio correspondió a F (Cuadro 1), aunque no difirió significativamente de las RG ( $p > 0,05$ ). En general, la fracción de C varió poco dentro de cada componente. La mayor variación se presentó en F ( $CV=4,59\%$ ), con valores que oscilaron entre 0,429 y 0,523. Por su parte, las RG arrojaron la menor variación ( $CV=2,70\%$ ), con valores comprendidos entre 0,453 y 0,505.

**Cuadro 1.** Fracción de C por componente de la biomasa aérea de *Prosopis affinis*, en un bosque nativo del Espinal (Dpto. Paraná, Entre Ríos, Argentina).

Componente arbóreo	Media $\pm$ EE
Ramas pequeñas+hojas, flores y frutos (RPHFF)	$0,457 \pm 0,004^a$
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 fracción de C determinada en los F en este estudio coincide con los valores de 0,477 reportados para este componente por Thomas y Martin (2012) y también con las esti-

maciones de Ma *et al.* (2017) para especies de hoja ancha caduca (tal es el caso de *P. affinis*) a partir de en una síntesis global de 46 años de investigaciones sobre variaciones en los contenidos de C en especies leñosas.

La mayor fracción de C en los F de la especie evaluada, respecto a los otros componentes de la biomasa, es consistente 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 ramas 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 F ( $0,444 \pm 0,002$ ), resultando ligeramente mayor que en las ramas, hojas y corteza ( $0,435 \pm 0,002$ ) en general para todas las especies estudiadas. Esto podría explicarse por un menor contenido de minerales y mayor de lignina en los fustes respecto a las hojas y ramas y órganos reproductores. Sin embargo, Yerena Yamallel *et al.* (2012) encontraron la fracción más alta de C en las hojas (0,481) en comparación al resto de los tejidos aéreos de 15 especies arbóreas del estado de México. Peñuelas y Lluís (2003) afirman que la fracción de C de las hojas depende de factores como la anatomía, o de procesos fisiológicos como la fotorespiración y la oxigenación, y de los cambios en la temperatura del ambiente.

### **Fracción de C promedio ponderada**

La biomasa total por individuo osciló entre los 5,3 y 385,5 kg árbol<sup>-1</sup>. En promedio, el componente RPHFF presentó la mayor contribución relativa a la biomasa arbórea total (41,9%), mientras que el menor valor (32,8%) correspondió a F (Sione *et al.*, inéd).

Considerando la distribución de la biomasa y la fracción de C de cada componente, se obtuvo una fracción ponderada de C de  $0,472 \pm 0,013$ .

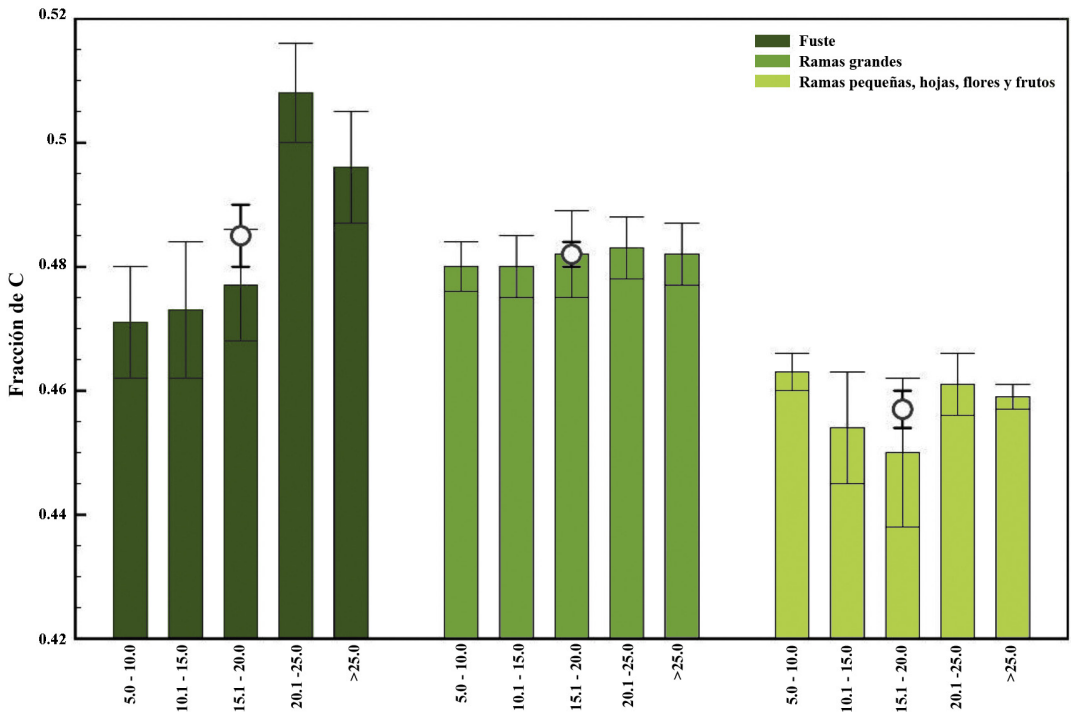
Similares valores promedio fueron obtenidos por De Petre *et al.* (2006), para *P. affinis* (0,476) y *P. nigra* (0,478), aunque esta información fue obtenida con un tamaño muestral pequeño ( $n=3$ ) por cada especie evaluada.

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 y maderas duras (0,521 y 0,491, respectivamente). Cabe destacar que *P. affinis* es una especie Fabácea de madera dura.

### **Fracción de C por clase diamétrica**

La fracción de C en los F 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 la biomasa no se detectaron diferencias estadísticas ( $p>0,05$ ) entre clases diamétricas (Figura 1).

En la literatura, 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*, *Gutteria 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 del árbol y el contenido de C de la madera de 16 especies arbóreas nati-



**Figura 1.** Fracción de C por componente de la biomasa en individuos de *Prosopis affinis*, en función de la clase diamétrica, en un bosque nativo del Espinal (Dpto. Paraná, Entre Ríos, Argentina). Las barras indican el valor promedio de la fracción de C para cada clase diamétrica (n= 6), con su respectivo error estándar; los círculos indican el valor promedio de la fracción de C por componente (n= 30).

vas. En *Pinus sp.*, Pimienta de la Torre *et al.* (2007) observaron que si bien la cantidad de C se incrementa con el aumento del diámetro de los árboles, no lo hace su proporción. Por su parte, De Petre *et al.* (2006) observaron variabilidad en el contenido de C de individuos de *P. affinis*, en cuanto al componente arbóreo, la clase diamétrica y el componente del leño. Estos autores sugieren que el contenido de C podría estar influenciado por la clase diamétrica de los árboles evaluados, ya que en el individuo de menor diámetro se determinó un valor de 2 a 3% C menor que en las clases más grandes.

**Modelo de predicción del almacenamiento individual de C**

El contenido de C almacenado por individuo ( $C_{ind}$ ) se correlacionó altamente con el  $d_{15}$  ( $r=0,92$ ;  $p<0,01$ ). Los valores de sesgo y cur-

tos estandarizados no se encontraron dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal, por lo que los valores de  $C_{ind}$  debieron transformarse a logaritmo natural.

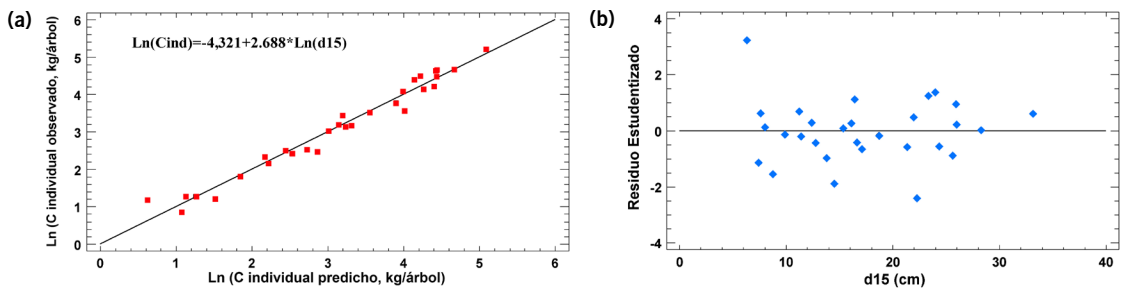
Los dos mejores modelos se presentan en el Cuadro 2. Estos modelos expresan el Ln del  $C_{ind}$ , por lo que la conversión a valores de C requiere del cálculo de un término de corrección. El mejor modelo ajustado (Figura 2) explica el 97,07% de la variabilidad en Ln  $C_{ind}$  después de transformar a una escala  $Y/(1-Y)$  para linearizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,98, lo que indica una relación relativamente fuerte entre las variables.

Diferentes estudios muestran que un aumento del diámetro de individuos arbóreos produce un aumento en la biomasa y, por lo

**Cuadro 2.** Mejores modelos para la estimación del C almacenado en individuos de *Prosopis affinis*, en un bosque nativo del Espinal (Dpto. Paraná, Entre Ríos, Argentina).

Modelo	R <sup>2</sup> aj	EAM	CME
$\text{Ln}(C_{\text{ind}}) = -4,321 + 2,688 * \text{Ln}(d_{15})$	0,97	0,16	0,04
$\text{Ln}(C_{\text{ind}}) = 0,186 + 0,168 * d_{15}$	0,95	0,22	0,08

Ln: logaritmo natural;  $C_{\text{ind}}$ : C almacenado en la biomasa individual (kg C árbol<sup>-1</sup>);  $d_{15}$ : diámetro basal del tronco a 15 cm desde el nivel del suelo (cm); R<sup>2</sup> adj.: R<sup>2</sup> ajustada; EAM: error absoluto medio y CME: cuadrado medio del error.



**Figura 2.** Capacidad del mejor modelo basado en  $d_{15}$ , para predecir el C almacenado individuos de *P. affinis* en un bosque nativo del Espinal (Dpto. Paraná, Entre Ríos, Argentina). Relación entre valores predichos y observados de C individual (a) y su correspondiente gráfico de residuos (b)

tanto, una mayor cantidad de C almacenado. Loiza *et al.* (2010), encontraron estos mismos resultados en su trabajo sobre biomasa y C almacenado en *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. y *Tectona grandis* de diferentes bosques en Colombia.

## CONCLUSIONES

En *P. affinis* los F presentaron los mayores valores de fracción de C respecto a los otros componentes arbóreos. La fracción de C en los F varió en función de  $d_{15}$ , con valores significativamente superiores en individuos con diámetros mayores a 20 cm.

En todos los casos, la fracción de C resultó inferior a la recomendada por el IPCC (0,5), por lo que el empleo de este valor causaría una sobrestimación en el almacenamiento de C. Se recomienda emplear para *P. affinis*, en bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina), una fracción de C de 0,485; 0,482 y 0,457 para fuste, ramas grandes y ramas pequeñas+hojas+flores+frutos, res-

pectivamente. En caso de requerirse un único valor de fracción de C para toda la biomasa total aérea se sugiere emplear el promedio ponderado de 0,472.

El modelo de regresión potencial desarrollado en este estudio resultó satisfactorio para estimar el C almacenado en la biomasa individual de *P. affinis* a partir de su  $d_{15}$ .

La información generada en este trabajo constituye una herramienta de utilidad para estimaciones más precisas y confiables del C almacenado y de las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por la deforestación y degradación de los bosques nativos del Espinal entrerriano.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Entre Ríos (PID-UNER N° 2182 "Stock de carbono en especies arbóreas nativas del Espinal entrerriano"). Los autores agradecen al C. Rausch por la colaboración en tareas de campo.



## BIBLIOGRAFÍA

- Avendaño, D., Acosta, M., Carrillo, F. y Etchevers, J. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 233-238.
- 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.
- 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. Buenos Aires, Argentina: Ed. ACME.
- 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.
- 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 .
- Figuroa, C.J., Etchevers, A., Barra, A., Velázquez, A. y Acosta, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamérica*, 23, 57-64. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323108>.
- Fonseca, W., Rey-Benayas, J.M., Alice, F.E. (2011). Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1400-1408. doi: 10.1016/j.foreco.2011.06.036.
- Gayoso, J. y Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*, 26(2), 33-38.
- Gifford, R. (2000). *Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees*. Canberra, Australia: Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System. Recuperado de <http://www.fullcam.com/FullCAM-Server/Help/rep/TR22%20Carbon%20Contents%20of%20Above-Ground%20Tissues%20of%20Forest%20and%20Woodland%20Trees.pdf>.
- Gower, S. T. (2003). Patterns and mechanisms of the forest carbon cycle. *Annual Review Environmental Resources*, 28, 169-204.
- Houghton, R. A., Hackler, J. L., Lawrence, K. T. (1999). The U.S. carbon budget: Contributions from land-use change. *Science*, 285, 574-577.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (1996). *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. London, England.
- IPCC. (2006). *Forest lands, Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Recuperado de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer\\_2006GLs.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf).
- 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](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.
- Ledesma, S.G., Muracciole, B., Dorsch, A.F., Sabattini, R., Cottani, F., Sione, S.M. y Fortini, C. (2007). Caracterización estructural de montes nativos de Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, 11 (2), 129-139.

- Loaiza, J., Rodríguez, J., Ramírez, M. and Lema, A. (2010). Estimation of biomass and carbon stocks in plants, soil and forest floor in different tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 260, 1906-1913.
- 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>.
- 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>.
- Muñoz, J., Milera, S., Romero, C., Brizuela, A. (2005). Bosques nativos y selvas ribereñas en la Provincia de Entre Ríos. *Insugeo Miscelánea*, 14, 169-182.
- 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.; Lluisá, J. (2003). Emisiones biogénicas de COVs y cambio global. ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático? *Ecosistemas*, 1, 1-7.
- Pimienta de la Torre, D., Domínguez, G., Aguirre, O., Javier, F. y Jiménez, J. (2007). Estimación de biomasa y fracción de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques*, 13(1), 35-46.
- Plan Mapa de Suelos de la provincia de Entre Ríos. (1997). Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos. *Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos*. Segunda Ed. Entre Ríos, Argentina: Serie Relevamiento de Recursos Naturales INTA-EEA.
- 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.
- Sabattini, R.A., Sione, S.M., Ledesma, S.G., Sabattini, J. y Wilson, M.G. (2016). Estimación de la pérdida de superficie de bosques nativos y tasa de deforestación en la Cuenca del Arroyo Estacas (Entre Ríos, Argentina). *Revista Científica Agropecuaria*, 20 (1-2), 45-56.
- 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.
- Sione, S.M., Andrade-Castañeda, H.J., Ledesma, S.G., Rosenberger, L.J., Oszust and Wilson, M.G. Aerial biomass allometric models for *Prosopis affinis* Spreng. in native Espinal forests (Argentina). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. En revisión.
- Thomas, S. C., and Martin, A. R. (2012). Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. *Forests*, 3, 332-352.
- Tortorelli, L.A. (1956). *Maderas y bosques argentinos*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Acme.
- UNFCCC. UN-REDD. (2015). *Programme Strategic Framework 2016-20*. Recuperado de <http://www.unredd.net/documents/policy-board-86/fourteenth-policy-board-meeting-washington-usa-20-22-may-2015/session-3-strategic-and-policy-issues/14096un-redd-pb14-2015-strategic-framework.html>.
- Van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y., van Leeuwen, T.T. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). *Atmospheric Chemistry & Physics*, 10, 11707-11735.
- Vashum, K.T. and Jayakumar, S. (2012). Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 2. Recuperado de <https://www.omicsonline.org/methods-to-estimate-above-ground-biomass-and-carbon-stock-in-natural-forests-a-review-2157-7625.1000116.pdf>.
- Williamson, B. and Wiemann, M. (2010). Age-dependent radial increases in wood specific gravity of tropical pioneers in Costa Rica. *Biotropica*, 42, 590-597.
- Yang, Y. H., Li, P., Ding, J.Z., Zhao, X., Ma, W.H., Ji, C.J. and Fang, J.Y. (2014). Increased topsoil carbon stock across China's forests. *Global Change Biology*, 20, 2687-2696.
- 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.
- Zhang, Q. Z., Wang, C. K., Wang, X. C., and Quan, X. K. (2009). Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate 337 tree species. *Forest Ecology and Management*, 258, 722-727.