

CONCENTRACIÓN DE CARBONO EN *Pinus cembroides* Zucc: FUENTE POTENCIAL DE MITIGACIÓN DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

CONCENTRATION OF CARBON IN *Pinus cembroides* Zucc: MITIGATION POTENTIAL SOURCE OF GLOBAL WARMING

Marín Pompa-García¹; José I. Yerena-Yamalliel².

¹Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Papaloapan y Blvd. Durango s/n. C. P. 34120. Durango, Dgo. MÉXICO.

Correo-e: marinpompagarcia@gmail.com Tel.: 01-618-1301096 (Autor para correspondencia).

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, MÉXICO.

RESUMEN

Los bosques de *Pinus cembroides* Zucc, usualmente, han sido segregados del aprovechamiento forestal comercial dadas sus desventajas maderables. Sin embargo, esta especie desempeña un papel importante en la biodiversidad de México. El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración de carbono (C) en los principales compartimentos de *P. cembroides*: raíz, corteza, fuste, ramas, yemas y hojas. La concentración de C total expresado como porcentaje de la biomasa fue determinado con el *Solids TOC Analyzer*. Los resultados se analizaron en un diseño completamente al azar y mediante comparación de medias de Tukey. El análisis indicó que la concentración de C varía entre los componentes ($P < 0.05$); la yema tuvo el valor más alto (57.1 %), mientras que el fuste y las ramas registraron los valores más bajos (47.7 y 47.8 %, respectivamente). Los resultados contribuyen a mejorar las estimaciones de C y proveen información importante para definir si los bosques de *P. cembroides* pueden considerarse como una posible fuente con potencial de mitigación ante el cambio climático y así utilizarlos en un programa de secuestro de C.

PALABRAS CLAVE:

Almacenamiento de carbono, cambio climático, TOC Analyzer, Chihuahua.

ABSTRACT

Pinus cembroides Zucc forests has usually been segregated from commercial logging given their woody disadvantages. However, this species plays an important role in the biodiversity of Mexico. The aim of the present study was to determine the concentration of carbon (C) in the main compartments of *P. cembroides*: root, bark, stem, branches, buds and leaves. The total C concentration expressed as percentage of biomass was determined with the *Solids TOC Analyzer* equipment. The results were analyzed in a completely randomized design and Tukey's comparison of means. The analysis of variance evidenced that C concentration varied among components ($P < 0.05$); the bud had the highest value (57.1 %), while stem and branches recorded the lowest values (47.7 and 47.8 %, respectively). Our results contribute to improving C estimates for this species and provide important information to determine whether *P. cembroides* forests can be considered as a possible source with mitigation potential against climate change and thus use it in a C sequestration program.

KEYWORDS: Carbon storage, climate change, TOC Analyzer, Chihuahua.



Recibido: 09 de abril, 2014
Aceptado: 06 de septiembre, 2014
doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.04.014
<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas han provocado disturbios que contribuyen al deterioro de los ecosistemas (Dhillon & Wuehlisch, 2013). Particularmente, los bosques de *Pinus cembroides* Zucc en México constituyen una evidencia de las omisiones de manejo sustentable a las que se ha sometido esta especie. Las desventajas maderables para su comercialización, así como la falta de parámetros básicos para conocer su productividad, han propiciado que *P. cembroides* sea segregada de los planes de manejo forestal. Incluso en algunas regiones del norte de México, las áreas se destinan para fines agropecuarios con los impactos ecológicos consecuentes en tales ecosistemas (Treviño, 2001). El desconocimiento del manejo de *P. cembroides* ha propiciado repercusiones negativas en su conservación; el aprovechamiento extractivo y desregulado de las semillas con fines comestibles es la principal actividad económica de esta especie que ocurre ocasionalmente en intervalos de cuatro años (Treviño, 2001). La amplia distribución de la especie en zonas de transición y la baja exigencia en las condiciones del sitio en que se desarrolla, pueden representar una alternativa para incorporarse a estrategias de servicios ambientales.

Paralelamente, el cambio climático ha propiciado el interés por buscar estrategias de mitigación mediante captura de carbono (C). Se ha revelado que el calentamiento global podría paliarse estabilizando las concentraciones de CO₂ por medio de los ecosistemas forestales (Acosta-Mireles, Carillo-Anzures, & Díaz-Lavariega, 2009; Lal, 2004; Rodríguez-Laguna, Jiménez-Pérez, Aguirre-Calderón, Treviño-Garza, & Razo-Zárate, 2009). La mayoría de los esfuerzos se han enfocado principalmente en especies tropicales y de crecimiento rápido (Casanova-Lugo, Petit-Aldana, & Solorio, 2011; Thomas & Martin, 2012), por lo que *P. cembroides* podría constituir una fuente complementaria de captura y almacenamiento de C. No obstante, se desconoce la concentración de C en estos ecosistemas para contribuir y precisar las estimaciones que, se asume, representan 50 % de la concentración en la biomasa (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2006).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue conocer la concentración de C en la biomasa de la raíz, corteza, fuste, ramas, yemas y hojas de *P. cembroides*, para contribuir con el conocimiento de las reservas de C, las cuales son un factor importante para definir si la especie puede considerarse como alternativa de uso en los programas de servicios ambientales ante el cambio climático global.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en bosques naturales de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, en el sur de Chihuahua (Figura 1). Los terrenos son bastante accidentados con elevaciones y depresiones irregulares y la tenencia es de tipo ejidal. La vocación del suelo es forestal, pero los

INTRODUCTION

Anthropogenic activities have caused disturbances that contribute to the deterioration of ecosystems (Dhillon & Wuehlisch, 2013). Particularly, *Pinus cembroides* Zucc forests in Mexico are evidence of sustainable management omissions to which this species has undergone. Woody disadvantages for marketing, as well as lack of basic parameters for productivity, have caused the segregation of *P. cembroides* from forest management plans. Even in some parts of northern Mexico, the areas are used for agricultural purposes with consequent ecological impacts on such ecosystems (Treviño, 2001). The lack of management of *P. cembroides* has led to negative impact on their conservation; extractive and unregulated seed harvesting with edible purposes is the main economic activity of this species occurring occasionally in four-year intervals (Treviño, 2001). The wide distribution of the species in transition zones and the low demand in site conditions in which it develops may represent an alternative to join strategies for environmental services.

Meanwhile, climate change has promoted interest in seeking mitigation strategies by capturing carbon (C). It has been revealed that global warming could be mitigated by stabilizing CO₂ concentrations through forest ecosystems (Acosta-Mireles, Carillo-Anzures, & Díaz-Lavariega, 2009; Lal, 2004; Rodríguez-Laguna, Jiménez-Pérez, Aguirre-Calderón, Treviño-Garza, & Razo-Zárate, 2009). Most efforts have focused mainly in tropical and fast growing species (Casanova-Lugo, Petit-Aldana, & Solorio, 2011; Thomas & Martin, 2012), so *P. cembroides* could constitute a complementary source of C capture and storage. However, the concentration of C in these ecosystems is unknown to contribute and specify the estimates that, it is assumed, represent 50 % of the concentration of the biomass (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2006).

Therefore, the aim of this study was to determine the concentration of C in the biomass of root, bark, stem, branches, buds and leaves of *P. cembroides* to contribute to the knowledge of stocks of C, which are an important factor to determine whether the species can be considered as an alternative to be used in programs of ecosystem services against global climate change.

MATERIALS AND METHODS

The study area is located within natural forests of the physiographic province of Sierra Madre Occidental, in southern Chihuahua (Figure 1). Fields are pretty rough with irregular elevations and depressions and the land tenure is an ejido. The vocation of the land is forest, but the land is not subject to timber forest management. The forest consists of temperate and semi-cold tree vegetation; the most important genus are *Pinus*, *Quercus*, *Arbutus* and *Juniperus*. The type of rocks is basic tuff, while soils are Cambisols and feozems (Pompa-García et al., 2010).

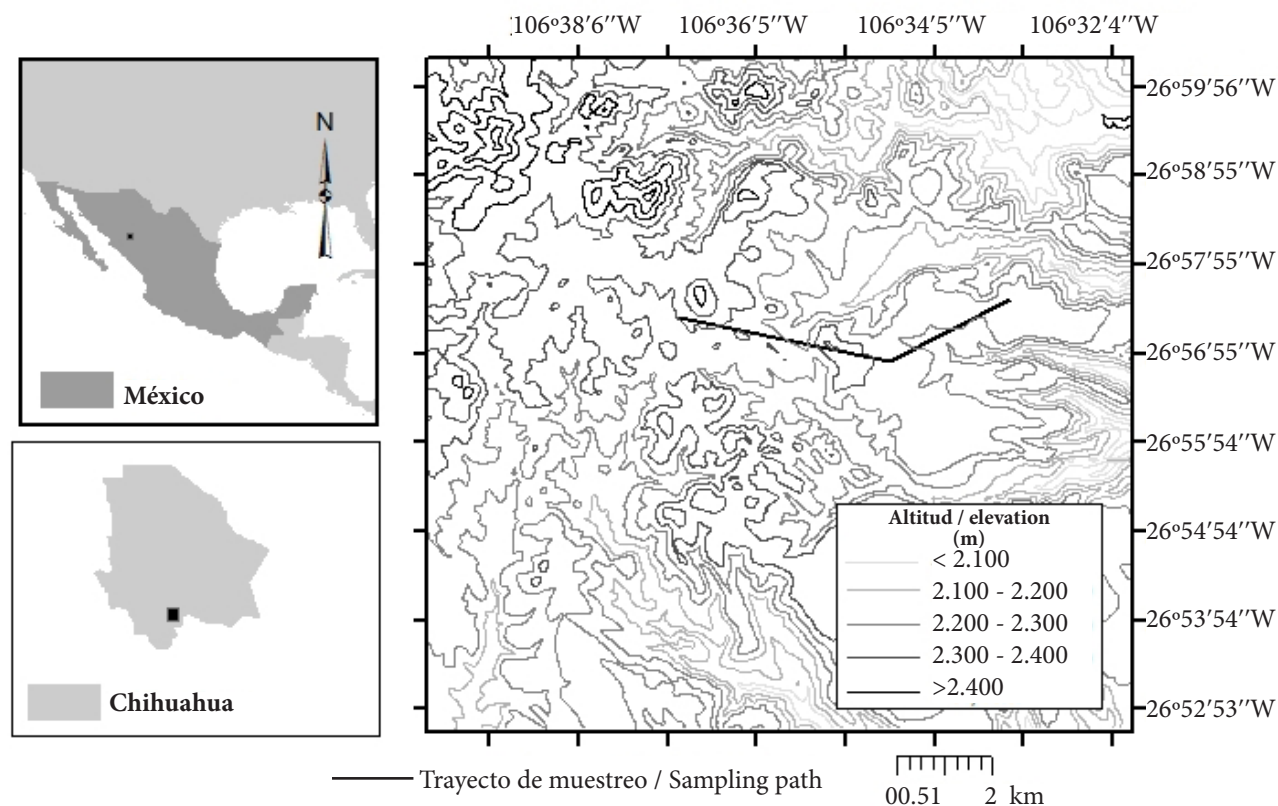


FIGURA 1. Localización del área de estudio: Bosques naturales de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental.
 FIGURE 1. Location of the study area: Natural forests of the physiographic province of Sierra Madre Occidental.

terrenos no están sometidos a manejo forestal maderable. El bosque está compuesto por vegetación arbórea de clima templado y semifrío; los géneros presentes más importantes son *Pinus*, *Quercus*, *Arbutus* y *Juniperus*. El tipo de rocas es la toba básica, mientras que los suelos son Cambisoles y Feozems (Pompa-García et al., 2010).

El muestreo se realizó en un trayecto de 7 km sometido a cambios de uso de suelo. En dicho trayecto se muestreó un individuo por categoría diamétrica de 5 cm hasta 40 cm, dando un total de ocho individuos. En cada árbol, en la posición orientada hacia cada uno de los puntos cardinales, se extrajeron 250 g en peso verde de los siguientes componentes: corteza, fuste, ramas (< 3 cm de diámetro), yemas, hojas y raíz. La extracción de la corteza y del fuste se hizo a 1.3 m de altura; el resto de los componentes se muestrearon a la altura media de la copa del árbol. En el caso del fuste, la extracción se hizo con un taladro de Pressler, para el caso de la raíz se utilizaron herramientas de excavación convencionales, mientras que el resto de los componentes se muestrearon con el uso de hacha y tijeras.

Las muestras, previamente identificadas, se llevaron al laboratorio y se secaron en una estufa hasta obtener peso constante, según los procedimientos recomendados por Avendaño, Acosta, Carrillo, y Etchevers (2009). Lamlon y Savidge (2003) recomiendan pulverizar las muestras para

Sampling was conducted in a distance of 7 km under land use changes. One tree per diameter category of 5 cm to 40 cm was sampled in this path, for a total of eight trees. A total of 250 g of fresh weight were extracted from the following components: bark, stem, branches (< 3 cm in diameter), buds, leaves and roots of each tree, oriented towards each of the cardinal points. Bark and stem extraction were performed at 1.3 m high; the other components were sampled at the average height of the tree crown. In the case of the stem, the extraction was made using a Pressler borer, and for the root, we used conventional excavation tools, while the rest of the components were sampled using ax and scissors.

The samples, identified previously, were taken to the laboratory and dried in an oven to constant weight, according to the procedures recommended by Avendaño, Acosta, Carrillo, and Etchevers (2009). Lamlon and Savidge (2003) recommend grinding the samples to improve estimates of C, obtaining fractions under 10 µm, according to the methodology described by Yereña, Jiménez, Aguirre y Treviño (2011). The concentration of total C was obtained using the Solids Analyzer equipment (model 1020A of O-I Analytical, USA), which analyzes solid sample (5 mg) by complete combustion at a temperature of 900 °C (Monreal et al., 2005). At least three replicates per sample were performed ensuring that the standard deviation did not exceed 0.6 % of the concentration of C (Lamlon & Savidge, 2003).

mejorar las estimaciones de C, por lo que se obtuvieron fracciones menores de 10 μm , de acuerdo con la metodología descrita por Yerena, Jiménez, Aguirre y Treviño (2011). La concentración de C total se obtuvo con un equipo *Solids TOC Analyzer* (modelo 1020A de O-I-Analytical, USA), que analiza muestras sólidas (5 mg) mediante combustión completa, a una temperatura de 900 °C (Monreal et al., 2005). Se hicieron al menos tres repeticiones por muestra procurando que la desviación estándar no rebasara el 0.6 % de la concentración de C (Lamlon & Savidge, 2003).

Análisis estadístico

Siguiendo las recomendaciones de Yerena et al. (2011), los resultados del laboratorio se analizaron en un diseño completamente al azar. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System, 2004) para determinar si existían diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la concentración de C entre los seis componentes. Cuando se detectaron diferencias estadísticas, se procedió a la comparación de medias con una prueba de Tukey ($P = 0.05$). Adicionalmente, mediante el PROC CORR de SAS (2004), se efectuaron pruebas de correlación para determinar la asociación estadística ($P < 0.05$) de la concentración de C, respecto al compartimento analizado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración promedio de C en *P. cembroides* varió desde 47.7 % en el caso del fuste, hasta 57.1 % en la yema. Las ramas, raíz, corteza y hojas presentaron 47.8, 49.0, 49.1 y 51.3 %, respectivamente. A pesar de dichas aproximaciones, ninguno de los compartimentos obtuvo el 50 % que se asume convencionalmente por defecto (Cuadro 1).

Las pruebas de significancia sugieren que al menos uno de los compartimentos resultó diferente significativamente en la concentración de C ($P < 0.05$). La comparación de medias de Tukey reflejó que la concentración media de C en el componente yema difiere significativamente del resto de los componentes ($P = 0.05$), mientras que entre ellos, la concentración de C en la hoja difirió del fuste y la rama.

Los resultados de las pruebas de correlación, para determinar la relación estadística de la concentración de C entre los componentes, mostraron asociación significativa ($P < 0.05$). La raíz, la rama y la hoja guardaron correlación entre sí. De esta forma, la raíz y la rama tienen una relación inversamente proporcional ($r = -0.9$, $P = 0.01$), al igual que la rama ($r = -0.9$, $P = 0.02$) y la hoja, mientras que la raíz y la hoja guardan relación lineal positiva ($r = 0.9$, $P = 0.03$), sugiriendo que las concentraciones de C en dichos componentes están estrechamente asociados.

La variación de la concentración de C en los compartimentos de *P. cembroides* es estadísticamente significativa ($P < 0.05$). A pesar de las aproximaciones cercanas al 50 % en el

CUADRO 1. Concentración de carbono por componente de *Pinus cembroides*.

TABLE 1. Concentration of carbon per component of *Pinus cembroides*.

Componente / Component	Carbono / Carbon (%)
Corteza / Bark	49.1 bc
Raíz / Root	49.0 bc
Fuste / Stem	47.7 c
Yema / Bud	57.1 a
Rama / Branch	47.8 c
Hoja / Leaf	51.3 b

Medias con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey, $P = 0.05$). / Means with different letters are statistically different (Tukey, $P = 0.05$).

Statistical Analysis

Following the recommendations of Yerena et al. (2011), laboratory results were analyzed in a completely randomized design. Data was subjected to an analysis of variance (ANOVA) using the SAS Statistical Program (Statistical Analysis System, 2004) to determine whether there were significant differences ($P \leq 0.05$) in the concentration of C among the six components. When statistical differences were detected, we proceeded to compare means with a Tukey test ($P = 0.05$). Furthermore, using the PROC CORR of SAS (2004), correlation tests were conducted to determine the statistical association ($P < 0.05$) of the concentration of C, with respect to the analyzed compartment.

RESULTS AND DISCUSSION

The average concentration of C in *P. cembroides* ranged from 47.7 % for stem, up to 57.1 % for bud. Branches, roots, bark and leaves had 47.8, 49.0, 49.1 and 51.3 %, respectively. Despite these approximations, none of the compartments had 50 % which is conventionally assumed by default (Table 1).

Significance tests suggest that at least one compartment was significantly different in the concentration of C ($P < 0.05$). Tukey comparison showed that the average concentration of C in bud differs significantly from the rest of the components ($P = 0.05$), while between them, the concentration of C in leaf differs from the concentration of C in stem and branch.

The results of correlation tests, to determine the statistical relationship of the concentration of C among the components, showed significant association ($P < 0.05$). The root, branch and leaf recorded correlation with each other. Thus, the root and branch have an inverse relationship ($r = -0.9$, $P = 0.01$), as well as the branch ($r = -0.9$, $P = 0.02$) and the leaf, while the root and the leaf kept positive linear relationship ($r = 0.9$, $P = 0.03$), suggesting that the concentration of C in these components are closely associated.

contenido de C, ninguno de los compartimentos tuvo el 50 % asumido por el IPCC (2006) que así lo considera como válido. Por ello, los resultados presentados en este estudio recobran importancia, ya que además constituyen el primer estudio que reporta la variación de la concentración de C en compartimentos de *P. cembroides*. En primera instancia, asumiendo el 50 %, se tienen sobrestimaciones de 0.9, 1.0, 2.3 y 2.2 % para el caso de la corteza, raíz, fuste y rama, respectivamente. Igualmente se presentarían subestimaciones del orden de 7.1 y 1.3 %, para el caso de las yemas y las hojas, respectivamente. Lo anterior guarda consistencia con la literatura que reporta variaciones de la concentración de C, según la especie, la sección del árbol, edad y condiciones ecológicas (McClaran, Mcmurtry, & Archer, 2013; Navarro, Róger, Ortiz, & Vilchez, 2013). Por ejemplo, Bert y Danjon (2006) encontraron que la concentración de C en fuste, ramas, y hojas de *P. pinaster* Ait. fue de 53 %, mientras que en México, *P. greggii* Engelm. mostró valores promedios de 50 % (Pacheco et al., 2007).

Las yemas y las hojas se distinguieron por tener las concentraciones más altas de C. Las yemas han sido identificadas como depositarios de altas tasas de compuestos volátiles, lo que en las comunidades europeas ha derivado en usos con fines médicos (Macchioni et al., 2003). Para Thomas y Martin (2012), los volátiles implican concentraciones de C que deben considerarse en las evaluaciones de dicho elemento en las especies forestales. Las hojas fueron el componente que ocupó el segundo lugar en la capacidad para almacenar C. Algunos autores argumentan que a pesar de tener menor cantidad de celulosa, las hojas son ricas en sustancias volátiles de alta concentración de C, por los procesos de fotosíntesis que ahí ocurren (Niinemets, Ellsworth, Lukjanova & Tobias, 2001; Yerena et al., 2011). En contraste, el fuste y la rama tuvieron los valores más bajos, siendo similares entre sí. Dicha similitud es atribuida a la composición química de celulosas y lignina que en su mayoría constituyen la madera (Fonseca, Alice, & Rey-Benayas, 2012). La corteza y la raíz presentaron valores intermedios, lo que para algunos autores es causa del contenido de celulosa, hemicelulosa y almidones caracterizados por bajas concentraciones de C (Bert & Danjon, 2006; Valentín et al., 2009).

Estudios recientes en especies de todo el mundo, indican que la información de concentración de C aún es generalizada (Thomas & Martin, 2012), por lo que se recomienda hacer investigación adicional a nivel de compartimento para cada especie (Zhang, Wang, Wang, & Quan, 2009). De esta forma, los resultados de correlación entre componentes resultan destacados. Los grados de asociación lineal, altamente significativos ($r = 0.9$, $P < 0.05$), sugieren que existen procesos fisiológicos dentro del árbol que ocasionan diferencias en los flujos de C entre sus componentes. Aunque tal discusión está más allá de los objetivos del presente trabajo, convendría realizar investigación adicional al respecto. Asimismo, hacen falta estudios relacionados con el contenido de biomasa por componente, que mediante los valores de

The variation of the concentration of C in *P. cembroides* compartments is statistically significant ($P < 0.05$). Despite the close approaches to 50 % in the concentrations of C, any of the compartments had the 50 % assumed for the IPCC (2006) which is considered valid. Therefore, the results presented in this study regain important since they also constitute the first study that reports the variation of the concentration of C in *P. cembroides* compartments. Firstly, assuming 50 %, we have overestimations of 0.9, 1.0, 2.3 and 2.2 % for bark, root, stem and branch, respectively. Also, we would observe underestimates of the order of 7.1 and 1.3 %, for buds and leaves, respectively. This keeps consistency with the literature reporting variations of the concentration of C, depending on the species, tree section, age and ecological conditions (McClaran, Mcmurtry, & Archer, 2013; Navarro, Róger, Ortiz, & Vilchez, 2013). For example, Bert and Danjon (2006) found that the concentration of C in stem, branches, and leaves of *P. pinaster* Ait. was 53 %, while in Mexico, *P. greggii* Engelm. had average values of 50 % (Pacheco et al., 2007).

The buds and leaves were distinguished by having the highest concentration of C. The buds have been identified as depositories of high rates of volatile compounds, which in European communities has resulted in use for medical purposes (Macchioni et al., 2003). For Thomas and Martin (2012), volatile substances involve concentrations of C that should be considered in evaluations of this element in forest species. The leaves were the component that ranked second in the ability to store C. Some authors argue that despite of having lower amount of cellulose, the leaves are rich in volatile substances high in C, due to the processes of photosynthesis occurring here (Niinemets, Ellsworth, Lukjanova & Tobias, 2001; Yerena et al., 2011). In contrast, the stem and the branch had the lowest values, being similar to each other. This similarity is attributed to the chemical composition of cellulose and lignin forming wood mostly (Fonseca, Alice, & Rey-Benayas, 2012). Bark and root showed intermediate values, which for some authors is due to the content of cellulose, hemicellulose and starch characterized by low concentrations of C (Bert & Danjon, 2006; Valentín et al., 2009).

Recent studies on species from around the world indicate that information on concentration of C is still widespread (Thomas & Martin, 2012), so it is recommended further research at compartment level for each species (Zhang, Wang, Wang, & Quan, 2009). In this manner, the results of correlation between components are highlighted. The degree of linear association, highly significant ($r = 0.9$, $P < 0.05$), suggest that there are physiological processes within the tree that cause differences in the flows of C among their components. Although such controversy is beyond the objectives of this work, additional research should be conducted. Furthermore, studies related to biomass content per component are needed, that base on the values of C here obtained will provide a more complete perspective.

C aquí obtenidos ofrecerán una perspectiva más completa. Según Pacala y Socolow (2004), los ecosistemas terrestres constituyen el mayor sumidero de C. Sin embargo, no hay información que documente el uso de los bosques de transición donde regularmente crece *P. cembroides*. Los presentes resultados constituyen un punto de partida para determinar el potencial de esta especie en caso de utilizarla en un programa de captura de C (Karlik & Chojnacky, 2013). Además, adquieren relevancia por la resiliencia que la especie registra ante el cambio climático, dado que resiste bajas precipitaciones y usualmente habita en sitios de elevado disturbio (Treviño, 2001). La premisa de maximizar la captura de C se fundamenta en mejorar sus estimaciones en los ecosistemas forestales. La incorporación de bosques de *P. cembroides* como áreas potenciales de secuestro de C puede constituir una alternativa viable. Sin embargo, aún quedan tareas pendientes para hacer que estos ecosistemas sean económicamente viables. Algunas de ellas son, por ejemplo, el establecimiento de líneas base, realización de inventarios de almacén de C y la creación de incentivos que propicien un mercado formal de pago de servicios ambientales por captura de carbono.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de C variaron en los compartimentos de *P. cembroides*. La yema tuvo la mayor concentración de C con 57.1 %, mientras que el fuste y la rama tuvieron los valores más bajos con 47.7 y 47.8 %, respectivamente. También se encontraron relaciones lineales directas e inversamente proporcionales de la concentración de C entre los componentes de *P. cembroides*, lo que contribuye a un mejor conocimiento de los flujos de C dentro del árbol. Si se conoce la concentración de C y la biomasa por compartimento es factible estimar el contenido total de C en *P. cembroides* con mayor precisión, representando información estratégica que puede ser utilizada para mitigar el CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el apoyo del CONACYT a través del proyecto 222522 para la realización de este trabajo. Asimismo, se agradecen las sugerencias del cuerpo editorial y los revisores anónimos que ayudaron a mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., & Díaz-Lavariaga, M. (2009). Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. *TERRA Lationamericana*, 27(2), 105–114. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311834003>
- Avendaño, D., Acosta, M., Carrillo, F., & Etchevers, J. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnica Mexicana*, 32(3), 233–238. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61011739008>

According to Pacala and Socolow (2004), terrestrial ecosystems are the largest sink of C. However, there is no information documenting the use of transition forests where *P. cembroides* grows regularly. These results provide a starting point to determine the potential of this species for use in a C sequestration program (Karlik & Chojnacky, 2013). It also become relevant due to the resilience recorded by the species against climate change, because it tolerates low rainfall and usually inhabits high disturbance sites (Treviño, 2001). The premise of maximizing C sequestration is based on improving their estimates in forest ecosystems. Incorporating *P. cembroides* forests as areas of potential C sequestration may be a feasible alternative. But there are still important tasks pending to make these ecosystems be economically viable. Some of them are, for example, establishing baselines, inventory of C store and creating incentives that encourage a formal market for payment for environmental services for C sequestration.

CONCLUSIONS

The concentration s of C varied in compartments of *P. cembroides*. The bud had the highest concentration of C with 57.1 %, while the stem and the branch had the lowest values with 47.7 and 47.8 % respectively. Direct linear and inversely proportional relationships of the concentration of C were found among the components of *P. cembroides*, which contributes to a better understanding of the flows of C inside the tree. If the concentration of C and the biomass per compartment are known, it is possible to estimate more precisely the total content of C in *P. cembroides*, representing strategic information that can be used to mitigate CO₂.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks CONACYT for the support provided through the project 222522 to carry out this study. The author also thanks the suggestions of the editorial board and the anonymous reviewers who helped improve the manuscript.

End of English Version

- Bert, D., & Danjon, F. (2006). Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). *Forest Ecology Management*, 222, 279–295. doi: 10.1016/j.foreco.2005.10.030
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., & Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 133–143. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.08.047
- Dhillon, R. S., & Von Wuehlich, G. (2013). Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass Bioenergy*, 48, 75–89. doi:10.1016/j.biombioe.2012.11.005
- Fonseca, W., Alice, F. E., & Rey-Benayas, J. M. (2012). Carbon ac-

- cumulation in aboveground and belowground biomass and soil of different age native forest plantations in the humid tropical lowlands of Costa Rica. *New Forest*, 43, 197–211. doi:10.1007/s11056-011-9273-9
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *Forest lands. Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hayama, Japan: IPCC-Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Karlik, J. F., & Chojnacky, D. C. (2013). Biomass and carbon data from blue oaks in a California oak savanna. *Biomass and Bioenergy*, 62, 228–232. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.11.018
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623–1627. doi: 10.1126/science.1097396
- Lamlom, S. H., & Savidge, R. A. (2003). A reassessment of carbon content in wood: Variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), 381–388. doi: 10.1016/S0961-9534(03)00033-3
- Macchioni, F., Cioni, P. L., Flamini, G., Morelli, I., Maccioni, S., & Ansaldi, M. (2003). Chemical composition of essential oils from needles, branches and cones of *Pinus pinea*, *P. halepensis*, *P. pinaster* and *P. nigra* from central Italy. *Flavour and Fragrance Journal*, 18, 139–143. doi: 10.1002/ffj.1178
- McClaran, M. P., Mcmurtry, C. R., & Archer, S. R. (2013). A tool for estimating impacts of woody encroachment in arid grasslands: Allometric equations for biomass, carbon and nitrogen content in *Prosopis velutina*. *Journal of Arid Environments*, 88, 39–42. doi: 10.1016/j.jaridenv.2012.08.015
- Monreal, C. M., Etchevers, B. J., Acosta, M., Hidalgo, C., Padilla, J. R., López, M., ... Velásquez, A. (2005). A method for measuring above-and below-ground C reserves in hillside landscapes. *Canadian Journal of Soil Science*, 85, 523–530. doi: 10.4141/S04-086
- Navarro, M. M., Róger, R. Ch., Ortiz, E., & Vilchez, B. (2013). Successional variation in carbon content and wood specific gravity of four tropical tree species. *Bosque*, 34(1), 33–43. doi: 10.4067/S0717-92002013000100005
- Niinemets, Ü., Ellsworth, D. S., Lukjanova, A., & Tobias, M. (2001). Site fertility and the morphological and photosynthetic acclimation of *Pinus sylvestris* needles to light. *Tree Physiology*, 21, 1231–1244. Obtenido de <http://treephys.oxfordjournals.org/content/21/17/1231.full.pdf>
- Pacala, S., & Socolow, R. (2004). Stabilization wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science*, 305, 968–72. doi:10.1126/science.1100103
- Pacheco, E. F. C., Aldrete, A., Gómez, G. A., Fierros, G. A. M., Cetina, A. V. M., & Vaquera, H. H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), 251–254. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61003006>
- Pompa-García, M., Solís-Moreno, R., Rodríguez-Téllez, E., Pinedo-Álvarez, A., Ávila-Flores, D. Y. Hernández-Díaz, J. C., & Velasco-Bautista, E. (2010). Viewshed analysis for improving the effectiveness of watch towers in the North of Mexico. *The Open Forest Science Journal*, 3, 17–22. doi:10.2174/1874398601003010017
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O., Treviño-Garza, E., & Razo-Zárate, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5(3), 317–327. Obtenido de <http://www.journals.unam.mx/index.php/rxm/article/view/15164/14413>
- Statistical Analysis System (SAS). (2004). *SAS user's guide statistics*. Release 9.1. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Thomas, S. C., & Martin, A. R. (2012). Carbon content of tree tissues: A synthesis. *Forests*, 3, 332–352. doi: 10.3390/f3020332
- Treviño, G. E. J. (2001). Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*. *Investigaciones Geográficas*, 44, 54–63. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56904408>
- Valentin, L., Kluczek-Turpeinen, B., Willför, S., Hemming, J., Hatakka, A., Steffen, K., & Tuomela, M. (2009). Scots pine (*Pinus sylvestris*) bark composition and degradation by fungi: Potential substrate for bioremediation. *Bioresources Technology*, 101, 2203–2209. doi:10.1016/j.biortech.2009.11.052
- Yerena, Y. J. I., Jiménez, P. J., Aguirre C. O., & Treviño, G. E. J. (2011). Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2), 283–291. doi:10.5154/r.rchscfa.2010.02.004
- Zhang, Q., Wang, C., Wang, X., & Quan, X. (2009). Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. *Forest Ecology Management*, 258, 722–727. doi:10.1016/j.foreco.2009.05.009