

Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México

Carbon retained in biomass and soil in forests at El Salto, Durango, Mexico

Miguel Ángel Morales-Inocente*, Juan Abel Nájera-Luna*✉, Miguel Ángel Escobedo-Bretado**, Francisco Cruz-Cobos*, Francisco Javier Hernández*, Benedicto Vargas-Larreta*

Morales-Inocente, M. A., Nájera-Luna, J. A., Escobedo-Bretado, M. A., Cruz-Cobos, F., Hernández, F. J., & Vargas-Larreta, B. (2020). Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 5-13.

RESUMEN

Los bosques retienen cantidades grandes de CO₂ en los principales componentes del ecosistema forestal. El conocimiento sobre esta condición se convierte en una herramienta con potencial para mitigar el cambio climático. Por tanto, este estudio se centra en estimar el carbono retenido en biomasa aérea y suelo en bosques de la región de El Salto, Durango, México. Para ello, información dasométrica y muestras de suelo provenientes de una red de nueve parcelas permanentes de investigación forestal fueron usadas. Los resultados indican la existencia de 135.95 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea equivalente a una retención de carbono de 66.42 Mg ha⁻¹. El 95% de carbono se encuentra retenido en la biomasa arbórea y 5% en el sotobosque (hojarasca, necromasa, arbustivas y herbáceas). Por otra parte, el carbono orgánico del

suelo estimado es de 187.06 Mg ha⁻¹, 70% se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad.

ABSTRACT

Forests retain large amounts of CO₂ in the main components of the forest ecosystem; on this condition becomes a tool with the potential to mitigate climate change. Therefore, this study focuses on estimating the carbon retained in the aerial biomass and the forest soil in forests of El Salto, Durango, Mexico. For this purpose, dasometric information and soil samples from a network of nine permanent forest research plots was used. The results showed, in a general 135.95 Mg ha⁻¹ of aerial biomass equivalent to carbon retention of 66.42 Mg ha⁻¹. 95% of the carbon is retained in the arboreal biomass and 5% in the understory (necromass, litter, herbaceous and shrubby). On the other hand, the organic carbon of the soil was estimated at 187.06 Mg ha⁻¹ where 70% is found in the first 20 cm of depth.

Palabras clave: cambio climático; mitigación; parcelas permanentes de investigación forestal; servicio ambiental.

Keywords: climate change; mitigation; permanent plots of forest research; environmental service.

Recibido: 9 de abril de 2019, Aceptado: 29 de enero de 2020

* Programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de El Salto (TecNM-ITES). Calle Tecnológico No. 101, Colonia La Forestal, C. P. 34942, El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. Correo electrónico: miguelangel1200@hotmail.com; jalnájera@itelsalto.edu.mx; cobos_cruz@yahoo.com.mx; fcojhernan@yahoo.com.mx; vlbene@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4430-1510>; <https://orcid.org/0000-0002-3989-3323>; <https://orcid.org/0000-0002-5090-8477>; <https://orcid.org/0000-0003-0480-624X>; <https://orcid.org/0000-0003-1176-7330>

** Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Veterinaria s/n, Circuito Universitario, C. P. 34120, Durango, Durango, México. Correo electrónico: miguel.escobedo@ujed.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-9084>

✉ Autor para correspondencia

INTRODUCCIÓN

Los bosques desempeñan un papel clave en el ciclo del carbono, ya que almacenan gran cantidad de carbono orgánico, la mayoría en los suelos, con una parte más pequeña que se mantiene en la vegetación (Achat, Fortin, Landmann, Ringeval, & Augusto, 2015). Los reservorios de dicho elemento químico se encuentran en océanos, atmósfera y suelo, pasando de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y bióticos. El intercambio de carbono entre los reservorios terrestres y atmosféricos es resultado de procesos naturales como fotosíntesis y respiración, así como de emisión de gases de origen antropogénico y tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono y del clima (Rügnitz Tito, Chacón León, & Porro, 2009).

Los árboles y otras plantas forestales remueven grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera a medida que crecen y lo almacenan en la biomasa arbórea y arbustiva. Así, la estimación adecuada de la cantidad de CO_2 almacenada es importante debido a que representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera; las buenas prácticas de manejo forestal representan una de las formas más efectivas para removerlo (Walker et al., 2011). En el suelo está ampliamente relacionado con el proceso de descomposición de la biomasa por la actividad bacteriana; una parte de dicho carbono regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización y otra es arrastrada a los océanos donde se deposita en forma de carbonatos (Rügnitz Tito et al., 2009).

Un bosque natural tiene una concentración grande de carbono, pero el cambio en el uso del suelo o las prácticas de manejo inadecuadas agotan esta existencia; por tanto, la consideración de conservar y fijarlo en un espacio determinado, cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero, es la mejor estrategia (Brown, Sathaye, Cannell, & Kauppi, 1996); así, los cambios en la química atmosférica serían mejorados al mismo tiempo (Lal, 2005).

Ante dicho escenario, la cantidad limitada de datos sobre reservas de carbono dificulta la implementación de mecanismos de reducción de emisiones (Dayamba, Djoudi, Zida, Sawadogo, & Verchof, 2016) y acceso a los fondos de compensación de carbono que propicien oportunidades sustanciales para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas nativos, con ganancias para la biodiversidad y la reducción en el carbono atmosférico. Sin embargo, estas alternativas podrían verse perjudicadas si se sigue careciendo de una cuantificación adecuada (Reside, VanDerWal, & Moran, 2017).

La información dasométrica que puede generarse al considerar las parcelas permanentes de investigación forestal es importante para evaluar la respuesta del bosque a las prácticas diversas de manejo cuando se pretende realizar un aprovechamiento responsable de los recursos naturales; así, el valor de esta información puede ser una herramienta potencial para mitigar el cambio climático. Entonces, la estimación del CO_2 retenido en los principales componentes del ecosistema forestal puede facilitar la cuantificación de las adiciones y sustracciones del carbono en vegetación

y suelo considerando su estructura, composición y características físicas. Este estudio se centró en estimar el carbono retenido en biomasa aérea y suelo en bosques de la región de El Salto, Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la región forestal de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México. Dicha superficie está en la provincia fisiográfica llamada Sierra Madre Occidental (SMO) y en la subprovincia denominada Gran Meseta. En esta área nueve parcelas de investigación forestal fueron seleccionadas y se encuentran ubicadas en los predios San Esteban, La Campana y La Ciudad (figura 1).



Figura 1. Localización de los predios y parcelas permanentes de investigación forestal. Elaboración propia.

Las parcelas tienen una superficie de 2,500 m^2 (figura 2), en cada una se establecieron ocho sitios de muestreo de forma circular con un radio de 11.28 m y una superficie de 400 m^2 . Los sitios se distribuyeron de manera sistemática en el perímetro de cada parcela. Cada sitio de muestreo consta de cuatro cuadrantes de 100 m^2 ; en el primero se estableció una subparcela de 25 m^2 ; de ahí se colectó toda la necromasa referida al material leñoso en proceso de descomposición; la necromasa se pesó in situ tomando una submuestra representativa para posteriormente estimar su peso seco. En los otros tres se establecieron subparcelas de 1 m^2 ; de estas se colectaron muestras del sotobosque compuesto por hojarasca, herbáceas y arbustivas (con un diámetro ≤ 5 cm); esas muestras fueron pesadas en el mismo lugar; también submuestras representativas de cada

componente fueron seleccionadas para cuantificar su peso seco.

El registro de información dasométrica (diámetro normal y altura total) de todo el arbolado con diámetro normal ≥ 5 cm dentro del sitio fue realizado de acuerdo con la propuesta de inventario forestal para biomasa sugerida por Schlegel, Gayoso y Guerra (2001).

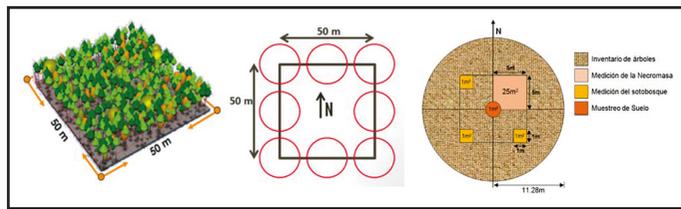


Figura 2. Representación esquemática de una parcela permanente de 0.25 ha y los sitios de muestreo.

Esquema de la distribución de los sitios de muestreo en las parcelas permanentes es elaboración propia; esquema de sitios de inventario de biomasa está tomado de Schlegel et al. (2001).

En el centro de cada sitio se ubicó un subsitio circular de 1 m² del cual se extrajeron tres muestras de suelo a diferente profundidad (10, 20 y 30 cm) (figura 3). La estimación del carbono retenido en

la biomasa aérea del arbolado se hizo mediante los modelos alométricos generados por Vargas-Larreta et al. (2017) para las especies arbóreas más importantes del estado de Durango (tabla 1). Durante el proceso, las variables independientes (diámetro normal y altura total) se sustituyeron de acuerdo a cada especie encontrada en los sitios de muestreo.



Figura 3. Colecta de muestras de suelo. Fotografía de Miguel Ángel Morales-Inocente.

Tabla 1
Modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total

Especie	Modelo
<i>Pinus ayacahuite</i>	$Wt = (0.029235 * d^{1.754181} * h^{1.094681}) + (0.032269 * d^{2.140329}) + (0.013948 * d^{1.876323} * h^{0.787632}) + (0.099595 * d^{1.539518})$
<i>Pinus cooperi</i>	$Wt = (0.014625 * d^{2.004845} * h^{1.019896}) + (0.017796 * d^{1.729007} * h^{0.735354}) + (0.00681 * d^{1.703388} * h^{1.27795}) + (0.045963 * d^{1.158145} * h^{0.587688})$
<i>Pinus durangensis</i>	$Wt = (0.017021 * d^{2.027449} * h^{0.957775}) + (0.008587 * d^{1.873877} * h^{0.848982}) + (0.001738 * d^{2.104604} * h^{1.070628}) + (0.00226 * d^{1.632837} * h^{1.096937})$
<i>Pinus engelmannii</i>	$Wt = (0.00456 * d^{1.585454} * h^{1.924877}) + (0.062489 * d^{1.135367} * h^{0.891785}) + (0.118427 * d^{2.030574} * h^{-0.27147}) + (0.01455 * d^{2.412249} * h^{-0.68208})$
<i>Pinus teocote</i>	$Wt = (0.113588 * d^{1.585454} * h^{1.924877}) + (0.062489 * d^{1.135367} * h^{0.891785}) + (0.118427 * d^{2.030574} * h^{-0.27147}) + (0.01455 * d^{2.412249} * h^{-0.68208})$
<i>Pinus leiophylla</i>	$Wt = (0.039421 * d^{1.779938} * h^{0.760027}) + (0.048604 * d^{1.875616}) + (0.104309 * d^{2.474884} * h^{-0.92097}) + (0.018491 * d^{1.735371})$
<i>Juniperus sp.</i>	$Wt = 26.44771 + (0.011099 * d^2 * h) + (0.000915 * d^2 * h) + 8.546641 + (0.001539 * d^2 * h) + 7.065763 + (0.000826 * d^2 * h)$
<i>Arbutus sp.</i>	$Wt = (0.051533 * d^{1.716357} * h^{0.896085}) + (0.001207 * d^{1.766367} * h^{1.056912}) + (0.01838 * d^{1.833397} * h^{0.857383}) + (0.001469 * d^{1.944487} * h^{0.928862})$
<i>Quercus sp.</i>	$Wt = (0.022162 * d^{1.946988} * h^{0.965834}) + (0.002228 * d^{1.964004} * h^{1.277101}) + (0.034481 * d^{2.285048}) + (0.023088 * d^{1.807366})$

Nota: Wt= peso seco del total de la biomasa arbórea (kg), d= diámetro normal (cm), h= altura total (m).
Fuente: Tabla tomada de Vargas-Larreta et al. (2017).

La conversión de biomasa a carbono se hizo con base en factores obtenidos por Vargas-Larreta et al. (2017) para las especies arbóreas más importantes del estado de Durango (tabla 2).

Tabla 2

Factor de conversión de biomasa a carbono para las especies arbóreas de Durango

Especie	Carbono total (%)	Desviación estándar (%)
<i>Pinus leiophylla</i>	51.64	2.3
<i>Pinus teocote</i>	51.15	2.8
<i>Pinus engelmannii</i>	50.71	2.0
<i>Pinus ayacahuite</i>	50.61	2.3
<i>Pinus durangensis</i>	50.54	3.0
<i>Pinus cooperi</i>	48.90	2.0
<i>Juniperus sp.</i>	48.72	4.5
<i>Arbutus sp.</i>	47.19	1.8
<i>Quercus sp.</i>	46.69	0.9

Nota: Tabla tomada de Vargas-Larreta et al. (2017).

La biomasa del sotobosque se estimó mediante el peso húmedo total de la submuestra y el peso seco de una submuestra, considerando lo recomendado por Pearson, Walker y Brown (2005):

$$Bt = \frac{Psm}{Phm} * Pht$$

donde:

Bt= biomasa total (g)

Psm= peso seco de la submuestra (g)

Phm= peso húmedo de la submuestra (g)

Pht= peso húmedo total (g)

La estimación del carbono de los componentes del sotobosque se realizó al involucrar los coeficientes de reducción de biomasa a carbono consignados por Schlegel et al. (2001). Estos coeficientes son 43.27% para la necromasa, 37.57% para la hojarasca, 36.90% para las arbustivas y 36.13% para las herbáceas.

El carbono orgánico en el suelo (COS) se determinó mediante el método de Walkley-Black. Esta técnica consiste en la oxidación del suelo con una solución de dicromato de potasio estandarizada utilizando el color producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado en la solución crómica. La

determinación se realizó valorando por retroceso la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la materia orgánica (MO), con una solución de sulfato ferroso, utilizando como indicador difenilamina (García Galvis & Ballesteros González, 2005). En total, 27 análisis químicos de suelo forestal fueron realizados; para ello nueve parcelas permanentes de experimentación forestal y tres diferentes profundidades de suelo fueron consideradas.

Para la determinación del COS (%) se utilizó la siguiente fórmula:

$$COS = \left(\frac{(N1 * V1) - (N2 * T)}{PS} \right) * (0.399)$$

donde:

N1= normalidad del $K_2Cr_2O_7$

V1= ml de $K_2Cr_2O_7$ usado

N2= normalidad del FE $(NH_4)_2SO_4$ (se debe calcular)

T= volumen de sulfato ferroso amoniacal gastado en la titulación

PS= peso del suelo en g

0.399= factor de conversión

El porcentaje de carbono del suelo (CS) se estimó al involucrar los valores de la densidad aparente y profundidad correspondiente de las muestras, se aplica la siguiente fórmula:

$$CS = CO * DA * P$$

donde:

CO= porcentaje de carbono

DA= densidad aparente (g/cm^3)

P= profundidad de muestreo (cm)

Procesamiento estadístico

Las variables biomasa y contenido de carbono retenido en cada uno de los componentes (hojarasca, necromasa, arbustos y herbáceas), así como en las tres profundidades de suelo (0-10; 10-20 y 20-30 cm) se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias mediante pruebas de Tukey a un nivel de significancia de 5%. El análisis de datos se llevó a cabo usando el paquete estadístico InfoStat 2018.

RESULTADOS

Biomasa aérea y carbono retenido

El muestreo consistió en 2,081 árboles con dimensiones promedio de 18 cm de diámetro normal y 12 m de altura total en los 72 sitios de muestreos

que correspondieron a una superficie de 2.88 ha, equivalente a una densidad de 723 árboles por ha. Las especies consideradas son *Pinus durangensis* (996 individuos), *Quercus* sp. (377), *Pinus cooperi* (219), *Pinus teocote* (162), *Pinus ayacahuite* (132), *Juniperus* sp. (126), *Arbutus* sp. (63), *Pinus leiophylla* (4) y 2 de *Pinus engelmannii*, los cuales acumularon 362.31 Mg de biomasa aérea equivalentes a 179.18 Mg de carbono retenido en la biomasa. La biomasa arbórea estimada es de 128.38 Mg ha⁻¹ y retiene 63.49 Mg ha⁻¹ de carbono. Lo sobresaliente es la participación de *P. durangensis* con 48% del total (tabla 3).

Biomasa en el sotobosque y carbono retenido

Los resultados del análisis de varianza indican que la cantidad de biomasa es diferente en al menos dos componentes del factor sotobosque ($p < 0.0001$) (tabla 4).

En general, la cantidad de biomasa presente en el sotobosque es de 7.57 Mg ha⁻¹, que transformada a carbono resultó en 2.93 Mg ha⁻¹. El componente que más contribuye a la retención de dicho elemento en el sotobosque es la hojarasca con 66.32%, seguido por la necromasa con 21%, mientras que las arbustivas y herbáceas representaron 7 y 5.68%, respectivamente (tabla 5).

Tabla 3
Biomasa aérea y carbono retenido por especie

Especie	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	Carbono (MgC ha ⁻¹)
<i>Pinus durangensis</i>	61.82	31.25
<i>Quercus</i> sp.	26.79	12.51
<i>Pinus cooperi</i>	21.49	10.51
<i>Pinus teocote</i>	9.22	4.72
<i>Pinus ayacahuite</i>	4.95	2.51
<i>Juniperus</i> sp.	2.78	1.35
<i>Arbutus</i> sp.	0.92	0.43
<i>Pinus engelmannii</i>	0.37	0.19
<i>Pinus leiophylla</i>	0.04	0.02
Total	128.38	63.49

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4
Análisis de varianza para el contenido de biomasa del factor sotobosque

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	Significancia
Sotobosque	3	794.03	264.68	61.98	0.0001*
Error	210	896.70	4.27		
Total	213	1690.73			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5
Medias y desviaciones estándar de biomasa y carbono retenido en el sotobosque

Sotobosque	Biomasa* (Mg ha ⁻¹)	Desviación estándar (Mg ha ⁻¹)	Carbono (Mg ha ⁻¹)	Desviación estándar (Mg ha ⁻¹)
Herbáceas	0.43 a	1.15	0.16	0.42
Arbustivas	0.53 ab	0.46	0.20	0.17
Necromasa	1.59 b	1.10	0.69	0.48
Hojarasca	5.02 c	3.34	1.88	1.26

Nota: *Medias con la(s) misma(s) letra(s) indican diferencia(s) no significativa(s) mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).
Elaboración propia.

Carbono orgánico en el suelo

Los resultados del análisis de varianza indican que la cantidad de COS es diferente en al menos dos niveles del factor profundidad ($p < 0.0001$) (tabla 6).

En los primeros 30 cm de profundidad del suelo corresponden 187.06 Mg ha⁻¹ de carbono orgánico (tabla 7). Casi 37% se encuentra en los primeros 10 cm de profundidad y 32.7% en el estrato de 10 a 20 cm. Alrededor de 70% del COS se almacena en los primeros 20 cm de profundidad.

Retención total de carbono

El carbono retenido en la biomasa aérea en el área de estudio es de 66.42 Mg ha⁻¹; 5% corresponde al carbono en la biomasa del sotobosque (hojarasca, necromasa, arbustivas y herbáceas) y 187.06 Mg ha⁻¹ de carbono son retenidas en el suelo superficial dentro de los primeros 30 cm de profundidad. En total son 253.48 Mg ha⁻¹ de carbono y 26% está retenido en la biomasa aérea.

DISCUSIÓN

La cantidad de biomasa aérea estimada en este estudio (128.38 Mg ha⁻¹) es parecida a la reportada en bosques de pino en el sur del estado de Nuevo León, México por Domínguez-Cabrera, Aguirre-Calderón, Jiménez-Pérez, Rodríguez-Laguna y Díaz-Balderas

(2009) con 125.33 Mg ha⁻¹. También la cantidad de carbono retenido por la biomasa de *Pinus* sp. (49.2 Mg ha⁻¹) en el presente estudio es similar a la registrada en la misma especie en ecosistemas templados del norte de Durango (41.29 Mg ha⁻¹), estimada por Silva-Arredondo y Nívar-Cháidez (2009). Las coincidencias pueden atribuirse a que en dichos estudios se trató de especies del mismo género.

En cuanto a la retención de carbono en la biomasa arbórea por especie, *P. cooperi* retuvo 21.49 Mg ha⁻¹; esta cifra es poco menos de la mitad de la estimada por Pimienta de la Torre, Domínguez-Cabrera, Aguirre-Calderón, Hernández y Jiménez-Pérez (2007) para *P. cooperi* Blanco (51.12 Mg ha⁻¹) como especie dominante en bosques de Pueblo Nuevo, Durango, México. La especie dominante en el caso presente es *P. durangensis* y retuvo 61.82 Mg C ha⁻¹, cifra más parecida a la estimada por Pimienta de la Torre et al. (2007).

La mayor cantidad de biomasa en el sotobosque corresponde a la hojarasca. Ello puede deberse a que este componente se encuentra incorporándose constantemente al suelo con el paso del tiempo y cuyas tasas de deposición son dependientes de la especie, edad del arbolado, densidad arbórea y microclima (viento y temperatura) del sitio (Reyes-Carrera, Méndez-González, Nájera-Luna, & Cerano-Paredes, 2013), lo que lo convierte en el

Tabla 6
Análisis de varianza para el COS del factor profundidad del suelo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	Significancia
Profundidad	2	5704.61	2852.30	13.46	0.0001*
Error	213	45149.65	211.97		
Totál	215	50854.26			

Nota: Elaboración propia.

Tabla 7
Medias y desviaciones estándar del COS a diferentes profundidades

Profundidad del suelo	Carbono Orgánico (Mg ha ⁻¹) *	Desviación estándar (Mg ha ⁻¹)
0 - 10	69.15 a	13.59
10 - 20	61.19 b	14.42
20 - 30	56.72 b	15.61

Nota: *Medias con la(s) misma(s) letra(s) indican diferencia(s) no significativa(s) mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).
Elaboración propia.

componente más vulnerable, ya que si ocurre un incendio, la hojarasca o mantillo es lo más afectado y se reduce; por otro lado, un fuerte viento puede promover considerable acumulación de biomasa en este componente (Acosta, Quednow, Etchevers, & Monreal, 2001).

La necromasa que representa la madera muerta en proceso de descomposición hace que este compartimiento almacene carbono durante mucho tiempo y sea un potencial retenedor a largo plazo (Lugo & Brown, 1992); mientras que los estratos arbustivos y herbáceos solo aparecen cuando se reduce la densidad arbórea, lo que permite mayor penetración de luz al suelo (Herrera-Arango, del Valle, & Orrego, 2001).

La distribución de la biomasa y carbono retenido en los componentes del sotobosque obtenidos en el presente estudio (66% de hojarasca, 21% de necromasa, 7% de arbustivas y 6% de herbáceas) es consistente con la estimada por Nájera-Luna, Peña-Montañez, Montañez-Hernández, Vargas-Larreta y Graciano-Luna (2009) en cuatro localidades forestales de la región de El Salto, Durango, donde el componente hojarasca aporta 81% del total de biomasa y carbono retenido, seguido por la necromasa (14%), mientras que las herbáceas y arbustivas solo representaron 3 y 2%, respectivamente.

En rodales forestales sometidos a tratamientos silvícolas en el ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango, Solís-Hernández (2013) encontró que la hojarasca representa 71% del aporte total de biomasa y carbono retenido, la necromasa 23% y las herbáceas y arbustivas 2 y 7% de la biomasa total. En relación con el COS, los 187.06 Mg ha⁻¹ estimados en este estudio son sensiblemente similares a los 174.28 Mg ha⁻¹ reportados por Solís-Hernández, Nájera-Luna, Méndez-González, Vargas-Larreta y Álvarez-Gallegos (2014) para los primeros 30 cm de suelo en bosques de la región de El Salto, Durango.

De manera similar, los 69.15 Mg ha⁻¹ de COS estimados en los primeros 10 cm de profundidad en este estudio son compatibles con los 68 Mg ha⁻¹ reportados como almacén promedio de carbono orgánico para el piso forestal de México y cuya fluctuación depende de las condiciones climatológicas y el tipo de vegetación existentes en las diferentes regiones (Saynes, Etchevers, Galicia, Hidalgo, & Campo, 2012).

Existe una tendencia hacia la disminución de COS conforme aumenta la profundidad del suelo debido a que la mayor actividad microbiana ocurre en el suelo superficial (Acosta-Mireles, Benavides-Solorio, & Carrillo-Anzures, 2012).

Finalmente, Saynes et al. (2012) mencionan que el carbono que se captura y almacena en la parte subterránea de los ecosistemas terrestres no ha sido considerado como un mecanismo de retención por los diseñadores de la política sobre el cambio climático, a diferencia de la parte aérea. Sin embargo, casi 75% del de los ecosistemas se encuentra en el suelo, como biomasa de raíces o en formas estables, como compuestos geoquímicos. Lo anterior coincide con lo encontrado en este estudio con 74% de dicho elemento retenido en el suelo del ecosistema forestal.

CONCLUSIONES

Un total de 135.95 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea se encuentra en las parcelas permanentes de investigación forestal de la región de El Salto, Durango, con un potencial de retención de carbono de 66.42 Mg ha⁻¹; de este, 95% se encuentra retenido en la biomasa arbórea y 5% en la biomasa del sotobosque (necromasa, hojarasca, herbáceas y arbustivas). La especie con mayor participación de biomasa y carbono fue *P. durangensis* con 48 y 49%, respectivamente.

La biomasa en sotobosque es de 7.57 Mg ha⁻¹, cantidad que transformada a carbono, representa 2.93 Mg ha⁻¹. El componente que más contribuye a la retención de carbono es la hojarasca con 64% del total.

La cantidad de carbono orgánico almacenado en los primeros 30 cm de profundidad es de 187.06 Mg ha⁻¹; 37% corresponde al ubicado en los primeros 10 cm de profundidad; mientras que en los primeros 20 cm se encuentra 70% del carbono total.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) el apoyo al proyecto de investigación "Establecimiento de una red de sitios permanentes de experimentación forestal en bosques de la región de Pueblo Nuevo, Durango" del cual se originó este escrito.

REFERENCIAS

- Achat, D. L., Fortin, M., Landmann, G., Ringeval, B., & Augusto, L. (2015). Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting. *Scientific Reports*, 5, 15991.
- Acosta, M., Quednow, K., Etchevers, J., & Monreal, C. (2001). Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. En J. Gayoso y R. Jandl (Eds.), *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Llevado a cabo por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Acosta-Mireles, M., Benavides-Solorio, J. D., & Carrillo-Anzures, F. (2012). Estimación del carbono en el suelo, hierbas y arbustos en una plantación experimental de cuatro especies tropicales, en la Huerta, Jalisco. En J. Wong, F. Paz Pellat, & R. Cuevas (Eds. de la serie), *Síntesis Nacionales: Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México. Síntesis a 2011* (pp. 139-144). Estado de México, México: Programa Mexicano del Carbono.
- Brown, S., Sathaye, J., Cannell, M., & Kauppi, P. E. (1996). Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *The Commonwealth Forestry Association*, 75(1), 80-91.
- Dayamba, S. D., Djoudi, H., Zida, M., Sawadogo, L., & Verchot, L. (2016). Biodiversity and carbon stocks in different land use types in the Sudanian Zone of Burkina Faso, West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 61-72.
- Domínguez-Cabrera, G., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Rodríguez-Laguna, R., & Díaz-Balderas, J. A. (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), 59-64.
- García Galvis, J., & Ballesteros González, M. I. (2005). Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 201-209.
- Herrera-Arango, M. A., del Valle, J. I., & Orrego, S. A. (2001). Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. En J. Gayoso y R. Jandl (Eds.), *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Llevado a cabo por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220(1-3), 242-258.
- Lugo, A. E., & Brown, S. (1992). Tropical forest as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*, 54(1-4), 239-255.
- Nájera-Luna, J. A., Peña-Montañez, S. I., Montañez-Hernández, J. A., Vargas-Larreta, B., & Graciano-Luna, J. J. (2009). Biomasa y carbono retenido en el sotobosque de cuatro localidades de El Salto, Durango. *TecnoINTELECTO*, 6(1), 32-36.
- Pearson, T., Walker, S., & Brown, S. (2005). *Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects*. Washington, DC: Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Timothy_Pearson/publication/257767667_Sourcebook_for_Land_use_Land-use_change_and_forestry_projects/links/0c960525d520782411000000.pdf
- Pimienta de la Torre, D. J., Domínguez-Cabrera, G., Aguirre-Calderón, O., Hernández, F. J., & Jiménez-Pérez, J. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques*, 13(1), 35-46.
- Reside, A. E., VanDerWal, J., & Moran, C. (2017). Trade-offs in carbon storage and biodiversity conservation under climate change reveal risk to endemic species. *Biological Conservation*, 207, 9-16.
- Reyes-Carrera, S. A., Méndez-González, J., Nájera-Luna, J. A., & Cerano-Paredes, J. (2013). Producción de hojarasca en un rodal de *Pinus cembroides* Zucc. en Arteaga, Coahuila, México y su relación con las variables climáticas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 147-155.
- Rüginitz Tito, M., Chacón León, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Recuperado de http://www.aecidcf.org.co/Ponencias/2016/septiembre/MI120916-1/Ref.7.Guia_Carbono.pdf
- Saynes, V., Etchevers, J. D., Galicia, L., Hidalgo, C., & Campo, J. (2012). Soil carbon dynamics in high-elevation temperate forests of Oaxaca (Mexico): Thinning and rainfall effects. *Bosque*, 33(1), 3-11.

- Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2001). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial de carbono*. Proyecto FONDEF D9811076. Chile: Universidad Austral de Chile. Recuperado de https://www.uach.cl/procarbono/pdf/proyectos_desarrollo/medicion_captura_carbono_bosques_chile.pdf
- Silva-Arredondo, F. M., & Návar-Cháidez, J. J. (2009). Estimación de factores en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2), 155-163.
- Solís-Hernández, A. (2013). *Carbono en el suelo y biomasa del sotobosque en rodales forestales del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango* (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de El Salto, México.
- Solís-Hernández, A., Nájera-Luna, J. A., Méndez-González, J., Vargas-Larreta, B., & Álvarez-Gallegos, M. (2014). Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 22(63), 5-11.
- Vargas-Larreta, B., López-Sánchez, C. A., Corral-Rivas, J. J., López-Martínez, J. O., Aguirre-Calderón, C. G., & Álvarez-González, J. G. (2017). Allometric equations for estimating biomass and carbon stocks in the temperate forests of North-Western Mexico. *Forests*, 8(8). doi: 10.3390/f8080269
- Walker, W., Baccini, A., Nepstad, M., Horning, N., Knight, D., Braun, E., & Bausch, A. (2011). *Field guide for forest biomass and carbon estimation*. Versión 1.0. Falmouth, Massachusetts, US: Woods Hole Research Center. Recuperado de <http://whrc.org/wp-content/uploads/2016/02/FieldGuide.pdf>