

## Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango

### Soil organic carbon in forest stands of the common land La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango

Adalberto Solís Hernández<sup>1</sup>, Juan Abel Nájera Luna<sup>2\*</sup>, Jorge Méndez González<sup>3</sup>, Benedicto Vargas Larreta<sup>2</sup>, Manuel Álvarez Gallegos<sup>2</sup>

Solís Hernández, A., Nájera Luna, J. A., Méndez González, J., Vargas Larreta, B. y Álvarez Gallegos, M. Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 63: 5-11, septiembre-diciembre 2014.

#### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue cuantificar el carbono orgánico almacenado en el suelo del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. Muestras de suelo se colectaron en 108 sitios distribuidos en tres calidades de sitio, tres tratamientos silvícolas y tres profundidades de suelo. La determinación del contenido de carbono orgánico se realizó a través del método de Walkley y Black. Para identificar diferencias significativas de contenido de carbono orgánico en el suelo por calidad de estación, tratamiento silvícola y profundidad del suelo se realizaron análisis de varianza y comparación de medias mediante pruebas de Tukey al 95%. Los resultados mostraron un promedio de contenido de carbono orgánico en el suelo de 58.10 mg ha<sup>-1</sup> y fue posible observar un aumento del carbono conforme mejora la calidad de estación. Los tratamientos silvícolas fueron no significativos y la tendencia

**Palabras clave:** carbono (C), suelo, Walkley y Black, tratamientos silvícolas, calidad de estación, Durango.

**Keywords:** carbon (C), soil, Walkley and Black, silvicultural treatments, site quality, Durango.

Recibido: 30 de mayo de 2013, aceptado: 24 de julio de 2014

<sup>1</sup> Programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

<sup>2</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

<sup>3</sup> Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

\* Autor para correspondencia: jalnajera@yahoo.com.mx

mostrada fue una disminución del carbono orgánico conforme aumenta la profundidad del suelo.

#### ABSTRACT

The objective of this research was to quantify the organic carbon content in the soil at the common land La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. Soil samples were collected at 108 sites distributed in three site qualities, three silvicultural treatments and three soil depths. The determination of organic carbon content was estimated by the Walkley and Black method. To identify significant differences in the content of organic carbon in the soil for site qualities, silviculture treatments and soil depths, we performed analysis of variance and comparison of means by Tukey's test at 95%. The results showed an average soil organic carbon of 58.10 mg ha<sup>-1</sup>, with an increase in carbon as site quality improvement. Silvicultural treatments effects were not significant and there a trend of decreasing organic carbon content with increasing soil depth was identified.

#### INTRODUCCIÓN

El carbono (C) es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos; circula por los océanos, atmósfera, suelo y subsuelo; los cuales son considerados como depósitos (almacenes) de carbono. Este elemento pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos. Cuando se realiza un inventario de carbono, por lo general se calcula el monto del mismo fijado en

cada uno de dichos depósitos; analógicamente, es posible comparar el inventario con una fotografía que permite ver el tamaño de estos almacenes al momento de tomarla. Los cambios que se dan en estos depósitos en el tiempo necesitarán medirse periódicamente mediante un monitoreo (Delgadillo y Quechulpa, 2006).

La captura de carbono es una posibilidad de ingresos adicionales para productores forestales, aun cuando mercados y mecanismos que operarán son todavía emergentes. Los sistemas de vegetación natural o inducidos tienen la capacidad de capturarlo. Sin embargo, el que se captura y almacena en la parte subterránea de los ecosistemas terrestres no ha sido considerado como un mecanismo de captura por los diseñadores de políticas sobre cambio climático, a diferencia de la parte aérea; no obstante que el 75% del carbono de los ecosistemas se encuentra en el suelo (Acosta-Mireles et al., 2001).

De acuerdo con Saynes et al. (2012) el piso forestal de México almacena un promedio de  $68 \text{ mg ha}^{-1}$  de carbono. Segura-Castruita et al. (2005) lo establecen en el rango de  $0.2 \text{ mg ha}^{-1}$  hasta  $493 \text{ mg ha}^{-1}$ , mencionan además que los estados que tienen mayor contenido promedio de COS son Yucatán, Quintana Roo, Querétaro, Chiapas e Hidalgo, con más de  $80 \text{ mg ha}^{-1}$ . Los estados con menor contenido de COS son Baja California Sur, Baja California Norte, Sonora, Coahuila y Tlaxcala, con menos de  $30 \text{ mg ha}^{-1}$ . Para el estado de Durango reportan  $48.5 \text{ mg ha}^{-1}$  de carbono como promedio estatal; mientras que Paz et al. (2012) lo establecen de  $49 \text{ mg ha}^{-1}$  a  $123 \text{ mg ha}^{-1}$ , debido a las variadas condiciones edáficas encontradas en el estado.

A pesar de contar con esta información, en la actualidad no existen referencias sobre la cuantificación de los montos de carbono en el suelo forestal en diferentes prescripciones silvícolas de los bosques templados de Durango. Por tanto, el objetivo del presente estudio es realizar la evaluación de los almacenes de carbono del suelo forestal a tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm), en tres diferentes tratamientos silvícolas (cortas de regeneración, cortas de selección y aclareos) y en tres calidades de estación (buena, regular y deficiente) en los bosques del ejido La Victoria del municipio de Pueblo Nuevo, Durango. Se parte del supuesto de que el contenido de carbono

orgánico del suelo es igual en todas las condiciones evaluadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El ejido La Victoria se encuentra en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, específicamente en la subprovincia Gran Meseta y Cañones Duranguenses (Figura 1), en la zona biogeográfica denominada "Bosque de coníferas y encinos de la Sierra Madre Occidental". El ejido cuenta con  $10,810.20 \text{ ha}$  y se encuentra en una zona que conforma una importante región forestal del estado de Durango conocida como El Salto, donde se encuentran más de 60 predios forestales con autorización de aprovechamiento forestal pertenecientes al municipio de Pueblo Nuevo, Durango (Smartwood, 2004).

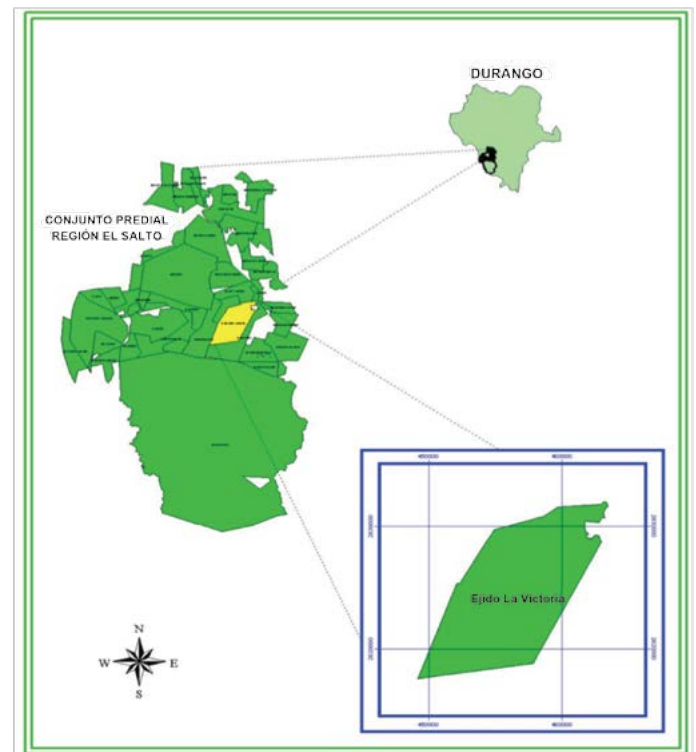


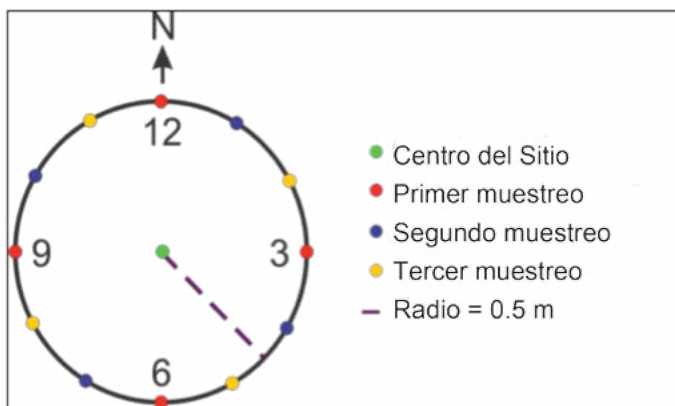
Figura 1. Localización del área de estudio.

### Muestreo y selección

Del suelo, 324 muestras se colectaron en áreas de manejo forestal del ejido La Victoria con distintas prescripciones silvícolas; de ellas, 108 correspondieron a cada calidad de sitio buena, regular y deficiente

(si se entiende como calidad de sitio la suma de factores ambientales que determinan el crecimiento y desarrollo de los árboles y que es medida indirectamente por la altura que alcanzan a una edad determinada), 36 muestras a cada tratamiento silvícola (cortas de regeneración, cortas de selección y aclareos) y de cada tratamiento silvícola se extrajeron tres muestras de suelo a profundidades de 10 cm, 20 cm y 30 cm.

Para la colecta de las muestras de suelo se empleó el método del reloj (Acosta-Mireles et al., 2001). Este método consiste en posicionar un sitio circular de 1 m de diámetro con orientación al norte y sucesivamente se marcan los puntos faltantes para completar el esquema del reloj, tal como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de reloj para la colecta de muestras de suelo.

En cada sitio (Figura 3) se recolectaron tres muestras de suelo, a profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Las muestras se colocaron en una bolsa de papel numerada e identificada según orden previamente establecido y después fueron trasladadas al laboratorio.

#### Cálculo de la densidad aparente del suelo

Para el cálculo de la densidad aparente se usó el método del cilindro de volumen conocido (Forsythe, 1975). Las muestras fueron colocadas en una bolsa de papel con la identificación del sitio y la profundidad de extracción de la muestra. El secado de las muestras se hizo en estufa a 100 °C durante 72 h; ya secas, las muestras se pesaron en una balanza analítica para determinar su peso seco con el fin de determinar la densidad aparente del suelo mediante la siguiente relación:



**Figura 3.** Establecimiento de un sitio de muestreo.

$$Da = mv$$

donde  $Da$  = densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $m$  = peso seco del suelo ( $\text{g}$ );  $v$  = volumen ( $\text{cm}^3$ ).

#### Cálculo del porcentaje de carbono en las muestras

El carbono en el suelo se determinó a través del método propuesto por Walkley y Black (1934), conocido como método de oxidación húmeda. El método consiste en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una solución de Dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con Ácido sulfúrico concentrado. Después de 30 min de espera la mezcla se diluye, luego se agrega Ácido fosfórico para evitar interferencias de Sulfato ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y el Dicromato de potasio residual es valorado con Sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre 70% y 84% del carbón orgánico total, por lo que es necesario introducir un factor de corrección que puede variar entre tipos de suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (Borges et al., 2001).

#### Cálculo del carbono orgánico del suelo

Para establecer el porcentaje de carbono orgánico en el suelo se utilizó la siguiente fórmula (Borges et al., 2001):

$$\% \text{CO} = B - Tg \cdot 0.39 \text{ mcf}$$

donde  $B$  = volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el testigo (ml);  $T$  = volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml);  $g$  = Peso de la muestra empleada (g);  $\text{mcf}$  = Factor de corrección de humedad.

### Cuantificación del carbono en el suelo

Conociendo el porcentaje de carbono del suelo y su densidad aparente se aplica la siguiente fórmula (Delgado y Quechulpa, 2006):

$$CS=CC*DA*P$$

donde CS= Cantidad de carbono en el suelo ( $\text{mg ha}^{-1}$ ); CC= % de carbono (%); DA= Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ); P= Profundidad de muestreo (cm).

### Análisis estadístico

Para evaluar la ocurrencia de diferencias significativas de carbono orgánico en el suelo por calidad de estación, tratamiento silvícola y profundidad del suelo, los análisis de varianza y comparación de medias se realizaron mediante pruebas de Tukey a un nivel de significancia de 0.05. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico InfoStat 2008 (Di Rienzo et al., 2008).

## RESULTADOS

### Carbono orgánico en el suelo forestal

#### Carbono orgánico en el suelo por calidad de estación

El carbono orgánico en el suelo mostró diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre calidades de estación. El promedio de carbono orgánico en el suelo fue de  $58.10 \text{ mg ha}^{-1}$ , con valores extremos de  $63.12 \text{ mg ha}^{-1}$  y de  $50.27 \text{ mg ha}^{-1}$ , con una tendencia de aumento del mismo en el suelo conforme se mejora la calidad de estación (Tabla 1).

Tabla 1. Carbono orgánico retenido en el suelo por calidad de estación

| Calidad de estación | Carbono orgánico ( $\text{mg ha}^{-1}$ ) |                     |        |        |
|---------------------|--|---------------------|--------|--------|
|                     | Promedio*                                | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
| Buena               | 63.12 a                                  | 26.22               | 12.16  | 101.73 |
| Regular             | 60.90 a                                  | 29.23               | 10.94  | 111.45 |
| Deficiente          | 50.27 b                                  | 25.74               | 6.08   | 98.92  |

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes a  $\alpha = 0.05$ .

#### Carbono orgánico en el suelo por tratamiento silvícola

Las diferencias de carbono orgánico del suelo (COS)

con respecto a los tratamientos silvícolas fueron no significativas (Tabla 2). Los valores encontrados fluctuaron entre  $58.47 \text{ mg ha}^{-1}$  y  $57.38 \text{ mg ha}^{-1}$ . Estos resultados evidencian que la aplicación de los tratamientos silvícolas no influye de manera directa sobre la retención de carbono en el suelo. Lo anterior puede deberse a que se requiere de un periodo muy largo para que la respuesta a la aplicación de los tratamientos silvícolas se manifieste en un mayor o menor contenido de carbono orgánico producto de la cantidad de biomasa que se aporta al suelo forestal.

Tabla 2. Carbono orgánico retenido en el suelo por tratamiento silvícola

| Tratamiento silvícola  | Carbono orgánico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) |                     |        |        |
|------------------------|--|---------------------|--------|--------|
|                        | Promedio*                                | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
| Cortas de selección    | 58.47 a                                  | 27.18               | 9.73   | 111.45 |
| Aclareos               | 58.44 a                                  | 28.58               | 10.94  | 106.32 |
| Cortas de regeneración | 57.38 a                                  | 27.27               | 6.08   | 102.48 |

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes a  $\alpha = 0.05$ .

#### Carbono orgánico en el suelo por calidad de estación y tratamiento silvícola

Fueron identificadas diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) atribuibles al efecto de la calidad de estación (Tabla 3). Los valores del carbono orgánico tuvieron variaciones extremas desde  $63.50 \text{ mg ha}^{-1}$  para la calidad de estación buena con tratamientos de aclareo hasta  $48.83 \text{ mg ha}^{-1}$  para la calidad de estación deficiente con cortas de regeneración.

#### Carbono orgánico a diferentes profundidades del suelo forestal

Fue identificada una tendencia hacia la disminución del carbono orgánico conforme aumenta la profundidad del suelo. Además, las profundidades de suelo tuvieron diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) de contenido de carbono orgánico. Valores de COS en el suelo de  $174.28 \text{ mg ha}^{-1}$  fueron determinados con valores extremos desde  $89.14 \text{ mg ha}^{-1}$  para los primeros 10 cm de profundidad del suelo hasta  $26.61 \text{ mg ha}^{-1}$  de los 20 cm a los 30 cm (Tabla 4).



**Tabla 3.** Carbono orgánico retenido en el suelo por calidad de estación y tratamiento silvícola

| Calidad de estación y tratamiento silvícola | Carbono orgánico (mg ha <sup>-1</sup> ) |                     |        |        |
|---|---|---------------------|--------|--------|
|   | Promedio*                               | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
| Buena con aclareo                           | 63.50 a                                 | 26.03               | 18.24  | 101.73 |
| Regular con cortas de selección             | 63.35 a                                 | 27.14               | 19.45  | 111.45 |
| Buena con cortas de regeneración            | 63.26 a                                 | 26.30               | 12.16  | 98.22  |
| Buena con cortas de selección               | 62.61 a                                 | 27.06               | 14.59  | 99.39  |
| Regular con cortas de regeneración          | 60.04 a                                 | 29.33               | 13.37  | 102.48 |
| Regular con aclareo                         | 59.30 a                                 | 31.71               | 10.94  | 106.32 |
| Deficiente con aclareo                      | 52.52 b                                 | 27.39               | 14.59  | 98.92  |
| Deficiente con cortas de selección          | 49.46 b                                 | 25.77               | 9.73   | 91.60  |
| Deficiente con cortas de regeneración       | 48.83 b                                 | 24.55               | 6.08   | 87.93  |

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes a  $\alpha=0.05$ .

**Tabla 4.** Carbono orgánico retenido a diferentes profundidades del suelo

| Profundidad del suelo (cm) | Carbono orgánico (mg ha <sup>-1</sup> ) |                     |        |        |
|----------------------------|---|---------------------|--------|--------|
|                            | Promedio*                               | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
| 0-10                       | 89.14 a                                 | 9.90                | 59.84  | 111.45 |
| 10-20                      | 58.53 b                                 | 11.45               | 16.43  | 83.33  |
| 20-30                      | 26.61 c                                 | 9.85                | 6.08   | 48.63  |

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes a  $\alpha=0.05$ .

## DISCUSIÓN

Los valores de carbono orgánico encontrados en el suelo en el presente estudio corresponden a ecosistemas forestales en producción y, debido a la posición ecológica de esta región, el tipo de vegetación influye en el aporte de dicho elemento al suelo en conjunto con el material parental y las condiciones topográficas del área, por lo que en áreas con vegetación forestal de coníferas y encinos se esperan valores de 65 mg ha<sup>-1</sup> de carbono. Por ello los suelos forestales son los componentes importantes que contribuyen con el mayor aporte del mismo al suelo con 27% en el país.

De acuerdo con Albanesi et al. (2003) los cambios de carbono orgánico del suelo dependen de su tipo, la posición topográfica, calidad y

cantidad de vegetación producida e incorporada al suelo tanto en forma natural como a consecuencia de las actividades de habilitación del suelo como desmontes, aprovechamientos y quemas de residuos; por lo que en sitios de buena calidad se espera que su contenido sea mayor.

Körschens et al. (1998) argumentan que el ciclaje de los compuestos húmicos —que se caracterizan por su peso molecular relativamente grande— puede tardar desde decenios hasta siglos para incorporarse al suelo, por lo que el secuestro de carbono en el suelo obedece a periodos de plazo largo y explican de alguna forma que los tratamientos silvícolas no tengan un efecto directo sobre el contenido de carbono en el suelo, debido a que su aplicación sólo se remonta a pocos decenios.

Thornley y Cannell (2000) establecen que las buenas prácticas de manejo forestal juegan un papel muy importante en la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo, en las velocidades de descomposición y en los procesos de estabilización del carbono orgánico del suelo, por lo que hay mayor potencial de almacenamiento de COS cuando se siguen programas de manejo en los que se mantiene la cubierta forestal y se simula un comportamiento natural del bosque. Sin embargo, algunas prácticas silvícolas pueden reducir la cantidad de materia orgánica que llega al suelo, lo que da como resultado la disminución de las concentraciones de COS.

La deforestación y degradación forestal reducen la cantidad de carbono en el suelo, dado que después de que elimina la vegetación leñosa, se interrumpe el ciclo en el que la vegetación aporta la materia orgánica que luego será absorbida por el suelo. Además, estos procesos provocan que la superficie del suelo quede expuesta, facilita la erosión y la oxidación de los componentes orgánicos. Las prácticas que emplean fuegos prescritos para el manejo forestal pueden causar un ligero aumento en el contenido de dicho elemento del suelo. Sin embargo, si se permite una gran acumulación de materia orgánica podría ser contraproducente porque se podrían liberar grandes reservas de carbono como consecuencia de incendios forestales catastróficos (Jonhson y Curtis, 2001; Jandl et al., 2007, citados por Pérez-Ramírez et al., 2013).

Los valores de COS del presente estudio son sensiblemente similares a los reportados por Acosta-Mireles et al. (2009), quienes encontraron valores promedio de carbono en el suelo de bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. en Tlaxcala de 164 mg ha<sup>-1</sup> a una profundidad desde 0 cm hasta 40 cm. Por su parte, Avilés-Hernández et al. (2009) al estudiar la variación de almacenes del elemento en estudio en el suelo de una toposecuencia (cresta, ladera, valle y planicie) de un bosque de *Fagus grandifolia* en el estado de Hidalgo, México, encontraron que la cantidad de aquél almacenado en el suelo cambia. La variación fue gradual creciente desde la cresta hasta la planicie, así como decreciente al aumentar la profundidad.

La mayor reserva de carbono total la encontraron en la planicie con 208 mg ha<sup>-1</sup> y la menor en la cresta con 159 mg ha<sup>-1</sup>. Asimismo, el mayor almacén del elemento lo encontraron en los primeros 15 cm de profundidad con 85 mg ha<sup>-1</sup>, lo cual es similar a los 89 mg ha<sup>-1</sup> encontrados en el presente estudio para los primeros 10 cm de profundidad del suelo.

El hecho de que su cantidad disminuya con la profundidad del suelo se debe, según a Shaver y Aber (1996), citados por Acosta-Mireles et al. (2009), a que la mayor actividad de desarrollo de las raíces de hierbas,

arbustos y muchas de las raíces finas de los árboles se realiza en los primeros centímetros del suelo.

Por su parte, Hontoria et al. (2004) mencionan que el no laboreo o laboreo mínimo, el uso de cubiertas sobre el terreno, el control de la erosión, la fertilización, los sistemas agroforestales y el control del sobrepastoreo son prácticas que aumentan el contenido de carbono en el suelo a plazo largo. También la reforestación, sobre todo en los suelos degradados, con contenido limitado de materia orgánica, será una forma importante para su almacenamiento a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo (Vela et al., 2012).

## CONCLUSIONES

La mayor concentración de carbono orgánico en el suelo se encuentra en la calidad de estación buena con 63.12 mg ha<sup>-1</sup>, se reduce significativamente en sitios con calidades regular y deficiente; por tanto, las áreas con mejor productividad almacenan mayor cantidad de carbono en el suelo.

La aplicación de tratamientos silvícolas no es un factor de relevancia para el almacenamiento del mismo en el suelo, ya que no se encontraron diferencias significativas entre cada tratamiento con un promedio de carbono orgánico de 58.09 mg ha<sup>-1</sup>.

La mayor cantidad de carbono orgánico se encuentra dentro de los primeros 20 cm de suelo con 89.14 mg ha<sup>-1</sup> y se observa una disminución significativa del porcentaje de carbono al aumentar la profundidad del suelo.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP) por el financiamiento al proyecto de investigación "Establecimiento de Una Red de Sitios Permanentes de Experimentación Forestal en Bosques de la Región de Pueblo Nuevo, Durango" con ID Actividad 7752 "Dinámica del carbono en el suelo", del cual forma parte el presente estudio.

## LITERATURA CITADA

- ACOSTA-MIRELES, M. et al. Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Terra Latinoamericana*, 27(2): 105-114, 2009.
  - ACOSTA-MIRELES, M. et al. Un método para la medición del carbono en compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. En *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 15 pp., 2001.
  - ALBANESI, A. et al. Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia*, 20: 9-17, 2003.
  - AVILÉS-HERNÁNDEZ, V. et al. Variación en almacenes de carbono en suelos de una toposecuencia. *Agrociencia*, 43(5): 457-464, 2009.
  - BORGES, G. L. et al. *Manual de prácticas de análisis de suelos*. Edo. de México, México: DGETA. 85 pp., 2001.
  - DELGADILLO, M. y QUECHULPA, S. *Manual de monitoreo de carbono en Sistemas agroforestales*. Chiapas, México: CONAFOR-AMBIO, S. C. DE R. L. 43 p., 2006.
  - FORSYTHE, W. *Física de suelos*. San José, Costa Rica: IICA. 212 pp., 1975.
  - HONTORIA, C. et al. Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España peninsular. *Edafología*, 11(2): 149-157, 2004.
  - KÖRSCHENS, M. et al. Turnover of soil organic matter and long term balances-tools for evaluating sustainable productivity of soil. *Z Pflanzenernähr Boden*, 161: 409-424, 1998.
  - PAZ, F. et al. Mapas nacionales del carbono orgánico en los suelos a escala nacional para las series II, III y IV de uso de suelo del INEGI. En F. Paz y R. Cuevas (Comps.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2011* (pp. 278-288). Programa Mexicano del Carbono, Universidad Autónoma del Estado de México e Instituto Nacional de Ecología, 2012.
  - PÉREZ-RAMÍREZ, S. et al. Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México. *Revista Chapingo* 19(1): 157-173 [Serie Ciencias Forestales y del Ambiente]. 2013.
  - SAYNES, V. et al. Carbono en los suelos forestales de México: revalorando nuestros almacenes. En F. Paz y R. Cuevas (Comps.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2011* (pp. 422-429). Programa Mexicano del Carbono, Universidad Autónoma del Estado de México e Instituto Nacional de Ecología, 2012.
  - SEGURA-CASTRUITA, C. M. et al. Carbono orgánico en suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 23(1): 21-28, 2005.
  - THORNLEY, J. H. M. y CANNELL, M. G. R. Managing forests for wood yield and carbon storage: A theoretical study. *Tree physiology*, 20: 477-484, 2000.
  - VELA, G. et al. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 77: 18-30, 2012.
  - WALKLEY, A. y BLACK, A. I. An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38, 1934.
- De páginas electrónicas**
- DI RIENZO, J. A. et al. *InfoStat versión 2008*. FCA-Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Grupo InfoStat. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>, 2008.
  - SMARTWOOD. *Resumen Público de Certificación del ejido La Victoria*. Certificado SW-FM/COC154. 37 p. Recuperado de [www.smartwood.org](http://www.smartwood.org), 2004.