



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>

Artículo

## **Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo**

### **Influence of cover, slope and depth, on soil carbon and nitrogen**

Susana Madrigal Reyes<sup>1</sup>, David Cristóbal Acevedo<sup>2\*</sup>, Elizabeth Hernández Acosta<sup>2</sup> y José Luis Romo Lozano<sup>1</sup>

#### **Abstract**

The joint study of soil organic carbon (COS) and total soil nitrogen (Nt) is important because their cycles interact, they are also considered parameters of fertility, quality and impact. Its contents in the soil affect the productivity of the forests and are related to the mitigation of climate change when the soil is conserved. Soil sampling was carried out in the *Zoquiapan* Experimental Forest Station, with the aim of obtaining and analyzing the content of SOC and Nt of the soil at 0 to 10, 10 to 20 and 20 to 30 cm deep, with three slope degrees where fir, pine and pine-alder forests grow. The largest COS and Nt simks were located in the first 10 cm. The soil with the fir cover, greater slope and lower depth had the highest COS and Nt content (132.20 and 14.19 Mg ha<sup>-1</sup> respectively). The soil with pine cover, slope and greater depth had the lowest contents of COS and Nt (30.86 and 3.37 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively). It is concluded that the contents of COS and Nt showed differences by type of coverage, slope and depth. Although it was in relation to the depth that the contents of COS and Nt had a more regular behavior, decreasing as the depth increased, regardless of coverage and slope.

**Key words:** Forest, SOC, total nitrogen, fir, pine, pine-alder.

#### **Resumen**

El estudio conjunto del carbono orgánico del suelo (COS) y el nitrógeno total del suelo (Nt) es importante debido a que sus ciclos interaccionan, además de que son considerados parámetros de fertilidad, calidad e impacto. Sus contenidos en el suelo inciden en la productividad de los bosques y tienen relación con la mitigación del cambio climático cuando el suelo se conserva. Se realizó un muestreo de suelos en la Estación Forestal Experimental de Zoquiapan, con el objetivo de obtener y analizar el contenido de COS y Nt del suelo a las profundidades de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm, con tres grados de pendiente donde se desarrollan bosques de oyamel, pino y pino-aile. Los mayores almacenes de COS y Nt se ubicaron en los primeros 10 cm. El suelo con la cobertura de oyamel, pendiente mayor y profundidad menor presentó el mayor contenido de COS y Nt (132.20 y 14.19 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente). El suelo con cobertura de pino, pendiente y profundidad mayor tuvo los contenidos más bajos de COS y Nt (30.86 y 3.37 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Se concluye que los contenidos de COS y Nt mostraron diferencias por tipo de cobertura, por pendiente y por profundidad. Aunque fue con relación a la profundidad que los contenidos de COS y Nt tuvieron un comportamiento más regular, que disminuye a medida que la profundidad se incrementó, independientemente de la cobertura y pendiente.

**Palabras clave:** Bosque, COS, nitrógeno total, oyamel, pino, pino-aile.

Fecha de recepción/Reception date: 5 de enero de 2018

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de diciembre de 2018

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. México. Correo-e: cristobalacevdo@yahoo.com.mx

## **Introducción**

La concentración y almacenamiento de carbono y nitrógeno dependen de muchos factores como la cobertura vegetal, el relieve, el suelo, el agua, y los microorganismos, entre otros factores. El conocimiento de la concentración o del contenido de la materia orgánica (MO) es esencial para entender los flujos de carbono (C) y nitrógeno (N) (Matus *et al.*, 2000). Valtera *et al.* (2015) declaran que la pendiente, la exposición de la ladera y la cubierta forestal son importantes porque explican los procesos físicos y químicos que ocurren en el suelo, entre ellos la dinámica de los elementos.

La vegetación es una de las características más distintivas de los suelos forestales y contribuye en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Rivas *et al.*, 2009). El nitrógeno total (Nt) forma parte de los residuos vegetales y animales depositados en el suelo que pasan por un estado de degradación y se almacena en la MO; a partir de su forma química y cantidad, puede cumplir su función como nutriente, mejora el crecimiento y la productividad, pero las necesidades de N varían por ecosistema, por lo que es importante su disponibilidad (NADP, 2000).

La materia orgánica (MO), el carbono orgánico (CO) y el nitrógeno total constituyen parámetros para el conocimiento de la fertilidad del suelo. Bastidas (2000) describe el término fertilidad como la capacidad del suelo para suministrar a las plantas los elementos nutritivos para su desarrollo, entendiendo que la mayor o menor concentración está determinada por la presencia y comportamiento de las condiciones ambientales.

Anaya *et al.* (2016) mencionaron que la ubicación topográfica, pendiente y composición florística influyen en la variación de CO; concluyeron que la concentración de CO decreció con la profundidad del suelo, y que aproximadamente 55 % se concentra en los primeros 30 cm. Ávila *et al.* (2004) señalaron que la concentración de Nt se redujo conforme aumentó la profundidad y pendiente del terreno, esto se debió principalmente a su adsorción por los coloides del suelo por debajo de los 80 cm. Alvarado *et al.* (2013) también afirmaron que el incremento del

COS en la superficie se debe, principalmente, a la distribución y actividad de las raíces finas, además de la caída de hojarasca.

El Nt y COS son considerados indicadores de la calidad del suelo, pues al ser capturados y almacenados por largos períodos de tiempo, se comportan como una alternativa para mitigar el cambio climático por el abatimiento de los gases de efecto invernadero (Orellana *et al.*, 2012). El CO almacenado en los primeros 100 cm se estima en un rango de 1.462 a 1.548 Pg en el planeta (Batjes, 1996), este carbono forma uno de los principales compartimentos terrestres, mayor que el carbono biótico y que el atmosférico (Peris, 2013).

Orjuela *et al.* (2010) determinaron el contenido de carbono orgánico en zonas de regeneración natural en la Amazonia Colombiana; ahí encontraron depósitos de 57.3 Mg ha<sup>-1</sup> de CO a una profundidad de 30 cm, por lo que consideraron estas áreas con potencial de almacenamiento para la captura de CO<sub>2</sub>.

Ávila *et al.* (2001) y Anaya *et al.* (2016) puntualizaron esta capacidad como una las funciones ecológicas y ambientales de las masas forestales. Es así que las zonas boscosas son más significativas que aquellos sitios que están desprovistos de vegetación. En ese contexto, Rivas *et al.* (2009) establecieron que el cambio de uso de suelo afecta los niveles de CO y Nt en el suelo, a través de la aceleración de los procesos de oxidación que alteran la cantidad y composición de la MO; tales cambios varían de acuerdo al clima, suelo, vegetación e intensidad de prácticas de manejo.

Celaya *et al.* (2015) señalaron que el cambio de uso de suelo es el principal factor de degradación de los ecosistemas naturales, ya que observaron variaciones en el almacenamiento de N con pérdidas anuales de 12.5 kg ha<sup>-1</sup>, debido a la transformación del ecosistema natural a pastizales, encontrándose mayores concentraciones de nitrógeno total en suelos bajo cobertura arbórea que en espacios abiertos y con pastos.

Con base en la capacidad de generar bienes ecosistémicos y contribuir a la mitigación de efectos de los desastres naturales imperantes en la actualidad, la preservación de

los bosques es de gran valor, así como la aplicación de políticas públicas con este mismo fin; por lo tanto, resulta esencial contar con información sobre el almacenamiento de CO y Nt que sirvan como línea base para la formulación de proyectos ambientales.

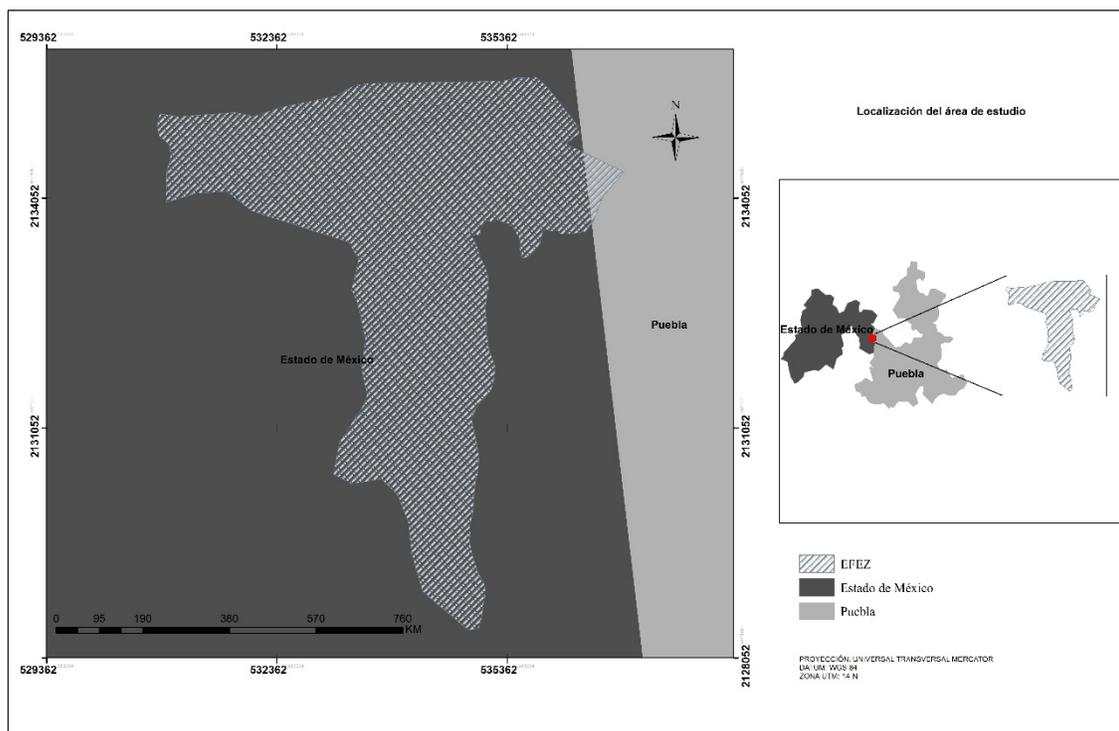
Poco se ha estudiado la influencia que tienen la cobertura, la pendiente y la profundidad del suelo en dichos almacenes. En ese contexto, se planteó el siguiente objetivo de esta investigación, que consistió en determinar la influencia que tienen los factores profundidad, pendiente y cobertura en el contenido de COS y Nt en el suelo de los bosques de Zoquiapan, México. Se parte del supuesto de que las características y magnitudes de dichos factores impactan los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo y que determinan las entradas, salidas y los almacenamientos de COS y Nt en el suelo, lo que determina su fertilidad, calidad y capacidad para aminorar los impactos ambientales.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

El experimento se realizó en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ) localizada entre los 19°12'30" y 19°20'00" norte y 98°42'30" y 98°30'00" oeste. Una parte se extiende en el Estado de México y otra en el estado de Puebla, (Figura 1). Tiene una superficie de 1 638 ha y altitud promedio de 3 284 msnm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 11.1 °C y precipitación anual promedio de 964.1 mm (Inegi, 1981).





**Figura 1.** Localización de la Estación Experimental Forestal Zoquiapan.

El relieve predominante es montañoso, con algunos llanos, con una variación en la pendiente de 2 a 50 % (Vega, 1982). Los suelos se clasifican como Andosoles mólicos, con buena aeración, buen drenaje, consistencia friable y ligeramente pegajosa y plástica; el pH con valores que oscilan entre 5.06 y 6.3, moderadamente ácidos y con buena disponibilidad de nutrientes (Rey, 1975; Aguilar y Plateros, 2003).

La vegetación está constituida principalmente por tres comunidades de alta montaña: bosque de pino (*Pinus hartwegii* Lindl.) ampliamente distribuido por toda el área cubriendo 65 %; bosque de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham.) que ocupa 10 % del área, con un dosel muy cerrado; y bosque de aile (*Alnus jorullensis* Kunth), que cubre 24 % del área, ampliamente distribuido por toda la estación y en algunos lugares forma masas puras (Herrera y Rodríguez, 1975).

## Ubicación de los sitios de muestreo

Para ubicar los sitios de muestreo, en primera instancia, se obtuvieron los diferentes tipos de vegetación o cobertura mediante la clasificación supervisada de imágenes Landsat 8 (*Path* 26 y *Row* 47). Los tipos de vegetación fueron: bosque de encino-pino, bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-aile, bosque de pino-oyamel y pastizal. De ellos, seleccionaron tres: bosque de pino, bosque de oyamel y la asociación bosque de pino-aile, porque cubren alrededor de 90 % de la superficie total de la EFEZ.

Para estimar la pendiente del terreno se utilizó el modelo de elevación digital (MED) con resolución espacial de 15 m (Inegi, 2013); mediante el software ArcGIS versión 10.3® y la herramienta *Slope* se generó un archivo *raster* con los valores de pendiente del terreno, mismos que se clasificaron en tres categorías: 0-10.10, 10.10-21.16 y 21.16-48.43 grados. Mediante la intersección de las capas de coberturas y pendiente del terreno se obtuvo un mapa de sistemas con la misma cobertura y pendiente. En el Cuadro 1 se describen las características de los nueve sistemas.

**Cuadro 1.** Sistemas conformados por una misma cobertura y pendiente.

Número	Cobertura	Intervalo de Pendiente (grados)	Superficie (ha)
1	Oyamel	0-10.10	48.79
2	Oyamel	10.10-21.16	113.10
3	Oyamel	21.16-48.43	69.24
4	Pino-aile	0-10.10	120.34
5	Pino-aile	10.10-21.16	102.79
6	Pino-aile	21.16-48.43	143.27
7	Pino	0-10.10	502.88
8	Pino	10.10-21.16	260.31
9	Pino	21.16-48.43	92.79
Total			1 453.52

Para la ubicación de las parcelas de muestreo al interior de los sistemas se consideraron las características de cobertura y pendiente homogéneas, así como los criterios establecidos por la NOM-021-Semarnat-2000 (Semarnat, 2002).

### **Muestreo de suelo**

Una vez delimitados los sistemas en gabinete, en cada uno de ellos se propusieron 10 parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup> distribuidas de forma regular en el área total del sistema, de los cuales se eligieron tres de manera aleatoria que se georreferenciaron. En campo se ubicaron las parcelas y al centro de cada una de ellas se extrajeron las muestras de suelo a los 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad; una para la determinación de valores de densidad aparente, para lo cual se utilizó la barrena de cilindro (*Eijkelkamp C*) y la otra para el análisis de las propiedades químicas del suelo, para lo cual se utilizó una barrena tipo holandés (*Eijkelkamp C*). En cada sitio se recolectaron 54 muestras (3 parcelas × 3 pendientes × 3 profundidades × 2 tipos de muestra). En total se recolectaron 162 muestras.

### **Determinaciones Físicas y Químicas**

Las muestras se secaron en una estufa (THELCO 28) a  $110 \pm 5$  °C hasta alcanzar un peso constante. Cada muestra se tamizó y se le determinó la densidad aparente por el método de la probeta (Sánchez *et al.*, 2011). Para la concentración de COS y Nt se secaron al aire libre y se tamizaron a través de malla de 2 mm, para posteriormente enviarlas al Laboratorio Central Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo para hacer las pruebas conducentes a calcular las concentraciones de materia orgánica y Nt.

La concentración de carbono orgánico (CO) se estimó a partir de la materia orgánica mediante el método de Walkley y Black (1934), la concentración del CO fue obtenida por medio del factor de Van Benmelen 1.724, que se dividió entre el porcentaje de materia orgánica, ya que se supone que este componente contiene 58 % de carbono orgánico. Dicho contenido se calculó con base en la siguiente ecuación (González *et al.*, 2008):

$$COS = Co * Dap * Ps \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

*COS* = Contenido de carbono orgánico del suelo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )

*Co* = Concentración de carbono en el suelo (%)

*Dap* = Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

*Ps* = Profundidad del suelo (cm)

La concentración de nitrógeno total se obtuvo por arrastre de vapor con el procedimiento micro-Kjeldahl, a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Nitrógeno total (Mg ha}^{-1}\text{)} = N - tot * Dap * Ps \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

*N-tot* = Concentración de nitrógeno en el suelo (%)

*Dap* = Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

*Ps* = Profundidad del suelo (cm)



## **Resultados y Discusión**

Para mostrar el efecto de la pendiente y la profundidad, las tres pendientes se denominaron como menor (0-10.10 grados), intermedia (10.10-21.16 grados) y mayor (21.16-48.43 grados). Las tres profundidades como menor (0 a 10 cm), intermedia (10 a 20 cm) y mayor (20 a 30 cm).

### **Contenido de Carbono orgánico en el suelo**

#### **Influencia de la cobertura**

Para la mayoría de los valores en el Cuadro 2 se observa un comportamiento regular de los contenidos de COS en función de la cobertura; para las tres pendientes y profundidades, los valores son menores en el bosque de pino, se incrementan en el bosque de pino-aile y disminuyen en el de oyamel con respecto a los de pino y aile.



**Cuadro 2.** Valores medios de carbono orgánico del suelo (COS) en función de la cobertura, pendiente y profundidad del suelo, en el bosque de la Estación Experimental Zoquiapan.

z (cm)	RP (grados)	Pino	Pino-Aile	Oyamel
		COS (t ha <sup>-1</sup> )		
0 a 10	Menor	49.65 (± 9.67)	130.80 (±5.83) <sup>+</sup>	89.74 (±9.01)
10 a 20	Menor	36.39 (±9.03)*	122.47 (±22.5) <sup>+</sup>	90.56 (±9.16)
20 a 30	Menor	32.62(±3.01)*	94.90 (±5.96)	74.18 (±13.16)
	Σ Cobertura	118.66	348.17	254.48
0 a 10	intermedia	118.81(±25.48)	97.14 (±41.02)	98.28 (±12.67)
10 a 20	intermedia	72.27 (±24.61)	106.13 (±18.89)	84.47 (±11.04)
20 a 30	intermedia	59.03 (±21.09)	103.23 (±37.97)	72.81 (±5.36)
	Σ Cobertura	250.11	306.50	255.56
0 a 10	mayor	72.38 (±23.62)	122.33 (±77.22)	132.20 (±8.83) <sup>+</sup>
10 a 20	mayor	38.90 (±5.19)	67.90 (±19.66)	70.63 (±4.19)
20 a 30	mayor	30.86 (±4.47)*	52.88 (±13.53)	55.06 (±20.37)
	Σ Cobertura	142.14	243.11	257.89

z = Profundidad; RP = Rango de pendiente; Menor = (0-10.10 °); Intermedia = (10.10-21.16 °); Mayor = (21.16-48.43 °); (±) = Valor de desviación estándar. \* =

Los tres valores más bajos de COS; <sup>+</sup> = Los tres valores más altos de COS.

De los tres valores mayores de COS para la cobertura, dos correspondieron a la de pino-aile con  $130.80 \text{ Mg ha}^{-1}$  y  $122.47 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; el tercero correspondió a la cobertura de la comunidad de oyamel con  $132.20 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Estas cifras son semejantes a las mencionadas por Vela *et al.* (2012) quienes encontraron contenidos de COS en bosques de conservación de oyamel y pino en la Ciudad de México de  $145.5$  y  $119 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. También se asemejan a las consignadas por Pérez *et al.* (2013), quienes realizaron un estudio del contenido de COS en áreas conservadas en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca en el Estado de México, y calcularon un valor medio de  $153 \text{ Mg ha}^{-1}$  en el suelo. Respecto a los tres valores inferiores de COS, éstos correspondieron a la cobertura de pino con  $30.86 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $32.62 \text{ Mg ha}^{-1}$  y  $36.39 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Al analizar el comportamiento del contenido de COS para las coberturas en las tres profundidades, se aprecia que la cobertura con los contenidos más altos de COS fueron la del bosque de pino-aile con  $130.80$ ,  $122.47$  y  $94.90 \text{ Mg ha}^{-1}$ . La cobertura con un menor contenido de COS para las tres profundidades fue la de pino con  $49.65$ ,  $36.39$  y  $32.62 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Este comportamiento se explica por el grado de conformación de las áreas y manejo forestal, ya que las coberturas de pino-aile y oyamel fueron las más compactas y con menos degradación en su interior, lo que contrasta con la del bosque de pino, que exhibe intervención por actividades productivas del tipo pecuario.

### **Influencia de la pendiente**

De manera general, el contenido de COS en función del factor pendiente tuvo un comportamiento regular en la cobertura de pino en las tres profundidades, inferior para las pendientes menor y mayor, y con un incremento en la intermedia. Para la cobertura de pino-aile se tuvo un comportamiento irregular para las tres pendientes y tres profundidades. En la profundidad de 0-10 cm de la comunidad de oyamel, el contenido de COS se incrementó a medida que lo hizo la pendiente, pero para las profundidades de 10 a 20 y 20 a 30 cm ocurrió lo contrario.

De los tres valores más destacados de COS en función de la pendiente, uno se encontró en la mayor pendiente con 132.20 Mg ha<sup>-1</sup>, otro en la intermedia con 122.47 Mg ha<sup>-1</sup> y el tercero en la menor con 130.80 y Mg ha<sup>-1</sup>.

Se advierte que la pendiente con un contenido más alto de COS a las tres profundidades fue la menor con 130.80, 122.47 y 94.90 Mg ha<sup>-1</sup> con la cobertura de pino-aile. Y lo contrario se verificó en la menor, con 49.65, 36.39 y 32.62 Mg ha<sup>-1</sup> con la cobertura de pino.

González *et al.* (2008) señalaron que en la mayoría de los ecosistemas vegetales hay una tendencia a concentrar mayor cantidad de COS en la posición inferior de las laderas. La afirmación anterior tiene validez en el análisis del efecto de la pendiente mayor y menor para las tres profundidades en la cobertura de pino-aile.

### **Influencia de la profundidad**

En la mayoría de los casos el contenido de COS disminuyó con la profundidad. El comportamiento anterior coincide con los hallazgos de Alvarado *et al.* (2013). De acuerdo al IPCC (1997), en los suelos el cambio en el COS es relativamente pequeño y ocurre principalmente en los primeros 30 cm de la capa del suelo. Según Schargel y Marvaez (2009), lo anterior se debe a que el carbono orgánico está vinculado a la materia orgánica, por lo cual su abundancia disminuye con la profundidad, ya que la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos se da en los primeros centímetros del suelo.

Para la profundidad, de los tres valores mayores de COS, dos se encontraron de 0 a 10 cm con 132.20 y 130.80 Mg ha<sup>-1</sup>, y el tercero a 10-20 cm con 122.47 Mg ha<sup>-1</sup>.

De los tres contenidos de COS más bajos, dos procedían de los 20 a 30 cm, con 30.86 Mg ha<sup>-1</sup> y 32.62 Mg ha<sup>-1</sup>, y el último a la de 10 a 20 cm con 36.39 Mg ha<sup>-1</sup>.

## **Contenido de carbono de 0 a 30 cm de profundidad**

En el Cuadro 3 se muestran los contenidos de COS de 0-30 cm de profundidad, obtenidos como la suma de las tres profundidades parciales y como función de las coberturas y los grados de pendiente. Se observa que las coberturas con los tres valores de COS más destacados fueron las de pino-aile con la pendiente menor, siguiéndole la misma cobertura con la pendiente intermedia y por último la de oyamel con la pendiente más pronunciada. Las coberturas con los tres valores menores de COS fueron la de pino con las pendientes menor y mayor y la de pino-aile con la pendiente mayor. Los contenidos de COS obtenidos son mayores a los calculados por otros autores como por Segura *et al.* (2005) en selvas húmedas con  $110.5 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Las diferencias pueden ser debidas a que en el bosque templado se tienen menores temperaturas en comparación con las selvas húmedas donde son mayores las velocidades de mineralización.

## **Contenido de Nitrógeno total en el suelo**

### **Influencia de la cobertura**

De manera similar al COS, en el Cuadro 3 se observa un comportamiento regular para la mayoría de los valores de contenido de Nt, en función de la cobertura para las tres pendientes y profundidades, con valores menores en la de pino, incrementándose en pino-aile y disminuyendo en oyamel con respecto a la de pino y aile.



**Cuadro 3.** Valores medios de nitrógeno total del suelo (Nt) en función de la cobertura, pendiente y profundidad del suelo, en el bosque de la Estación Experimental Zoquiapan.

z (cm)	RP (grados)	Pino	Pino-Aile	Oyamel
		Nt (t ha <sup>-1</sup> )		
0 a 10	Menor	5.67 (±0.46)	10.57 (±1.89) <sup>+</sup>	10.08 (±2.82)
10 a 20	Menor	4.77 (±0.85)	9.93 (±2.68)	8.85 (±1.26)
20 a 30	Menor	5.03 (±0.71)	9.33 (±0.31)	7.62 (±0.65)
	Σ Cobertura	15.47	29.83	26.55
0 a 10	Intermedia	6.5 (±0.56)	8.50 (±3.40)	9.78 (±1.79)
10 a 20	Intermedia	4.83 (±1.83)	9.53 (±0.61)	8.73 (±0.56)
20 a 30	Intermedia	4.77 (±2.98)	8.37 (±1.75)	7.29 (±1.15)
	Σ Cobertura	16.10	26.40	25.80
0 a 10	Mayor	4.62 (±1.16)*	11.61 (±6.04) +	14.19 (±3.13) <sup>+</sup>
10 a 20	Mayor	3.81(±0.84)*	6.18 (±1.80)	8.19 (±1.50)
20 a 30	Mayor	3.37 (±0.83)*	5.34 (±0.75)	6.09 (±1.67)
	Σ Cobertura	11.80	23.13	28.47

Z = Profundidad; RP = Rango de pendiente, Menor = (0-10.10 grados); Intermedia = (10.10-21.16 grados); Mayor = (21.16-48.43 grados); (±) = Valor de desviación estándar. \*= Los tres valores más bajos de Nt; + = Los tres valores más altos de Nt.

Se observa que las tres coberturas con mayor contenido de Nt en el suelo se dieron en la comunidad de oyamel con  $14.19 \text{ Mg ha}^{-1}$ , a la que le sigue de pino-aile con  $11.61 \text{ Mg ha}^{-1}$  y en tercer lugar, nuevamente, se ubica la de pino-aile con  $10.57 \text{ Mg ha}^{-1}$ . La cobertura con los tres valores menores de Nt fue la de pino con  $3.37 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $3.81 \text{ Mg ha}^{-1}$  y  $4.62 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

En el análisis del contenido de Nt para las tres profundidades se advierte que la cobertura de pino-aile tuvo el mayor contenido de Nt con  $10.57$ ,  $9.93$  y  $9.33 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, y la cobertura de pino fue la de menor contenido de Nt, con  $4.62$ ,  $3.81$  y  $3.37 \text{ Mg ha}^{-1}$ . De acuerdo con la clasificación del nitrógeno y nivel de abundancia en el suelo (Semarnat, 2002), el bosque de oyamel y pino-aile son ricos en este elemento, el bosque de pino se definió en el rango de nivel medio. Arzuaga *et al.* (2016) evaluaron el contenido de Nt en el suelo bajo cobertura de bosque de pino conservado, y calcularon valores de  $2.69 \text{ Mg ha}^{-1}$ , mientras que para las áreas deforestadas hubo una reducción de alrededor de 51 % en los primeros 30 cm.

### **Influencia de la pendiente**

Los valores de Nt en función de la pendiente presentaron el comportamiento más irregular. Para las pendientes con la cobertura de pino y las profundidades menor e intermedia, fue menor para la pendiente menor, se incrementó para la intermedia y volvió a disminuir con la pendiente más pronunciada. Para la profundidad mayor, el contenido de Nt se redujo en sentido contrario a la pendiente. Para la cobertura de pino-aile a la profundidad de 0-10 cm, el contenido de Nt disminuyó al pasar de la pendiente menor a la intermedia, posteriormente se incrementó en la mayor. Para las profundidades de 10 a 20 cm los contenidos de Nt fueron más bajos a medida que la pendiente se incrementó. Para la cobertura de oyamel, el contenido de Nt fue menor en sentido inverso a la pendiente para las profundidades de 10 a 20 y 20 a 30 cm, pero a la de 0 a 10 cm, primero disminuyó y luego se incrementó.

Dos de los tres valores mayores de Nt se registraron en la pendiente mayor con 14.19 Mg ha<sup>-1</sup> y 11.61 Mg ha<sup>-1</sup>, y el tercero en la pendiente menor con 10.57 Mg ha<sup>-1</sup>. Los tres contenidos inferiores de Nt (3.37 Mg ha<sup>-1</sup>, 3.81 Mg ha<sup>-1</sup> y 4.62 Mg ha<sup>-1</sup>) se registraron con la mayor pendiente.

La pendiente con un mayor contenido de Nt a las tres profundidades fue la menor, con 10.80, 9.93 y 9.33 Mg ha<sup>-1</sup>. Lo contrario se presentó para las tres profundidades en la mayor, con 4.62, 3.81 y 3.37 Mg ha<sup>-1</sup>.

Los resultados del análisis y de la comparación entre la pendiente menor u la mayor permiten afirmar que el contenido de Nt disminuyó conforme avanzó el grado de inclinación, lo que se respalda en los resultados obtenidos por Lozano *et al.* (2016); dichos autores aseveraron que la topografía, la pendiente y la orientación del terreno son variables que deben ser incluidos en las estimaciones de Nt y COS a escala local y regional, ya que existen diferencias en los almacenes de estos nutrientes. Ávila *et al.* (2004) señalaron que la concentración de Nt se reduce conforme aumenta la pendiente.

### **Influencia de la profundidad**

El factor profundidad tuvo el comportamiento esperado para el contenido de Nt, pues en la mayoría de los casos independientemente de la pendiente y cobertura, disminuyó con la profundidad de manera similar a lo que ocurrió con el contenido de COS. Lo anterior concuerda con los resultados de Ávila *et al.*, (2004), quienes señalaron en su estudio que la concentración de Nt se redujo conforme aumentó la profundidad del terreno. Esta disminución, según Schargel y Marvaez (2009), se debe a que el nitrógeno está vinculado a la materia orgánica.

Las tres mayores magnitudes de contenido de Nt fueron para la profundidad de 0-10 cm con 14.19 Mg ha<sup>-1</sup>, siguiéndole 11.61 Mg ha<sup>-1</sup> y por último 10.57 Mg ha<sup>-1</sup>. Los tres menores contenidos de Nt se dieron a la profundidad de 20 a 30 cm con 3.37 Mg ha<sup>-1</sup>, en segundo lugar a la de 10 a 20 cm con 3.81 Mg ha<sup>-1</sup> y en tercer lugar la de 0 a 10 con 4.62 Mg ha<sup>-1</sup>.

## **Contenido de nitrógeno total de 0 a 30 cm de profundidad**

Para el Nt, las coberturas con los tres valores más altos fueron las de pino-aile con la pendiente menor, a la que siguió la de oyamel con la pendiente mayor y menor. La cobertura con los tres valores más bajos de Nt fueron las de pino con todas las pendientes. Estos resultados fueron superiores a los consignados por Sacramento *et al.* (2013) de 10.15 Mg ha<sup>-1</sup> en un sistema natural del municipio Sobral, Ceará, Brasil y por Carvajal *et al.* (2009) de 10.41 Mg ha<sup>-1</sup> en selva y 6.65 Mg ha<sup>-1</sup> en cafetal.

Los datos obtenidos para la cobertura pino-aile, y el contenido de Nt, concuerdan con el hecho de que las zonas cubiertas por especies del género *Alnus* (*Alnus firmifolia*) en asociación con pino, son de valor ecológico por el almacenamiento y fijación de N<sub>2</sub>; por lo tanto, dicha especie latifoliada representa una alternativa para al manejo de áreas forestales y recuperación de nitrógeno en el suelo (Gutiérrez-Guzmán *et al.*, 2005).

Al haber intervención en las zonas conservadas, el almacenamiento de carbono y nitrógeno disminuyeron; la cobertura de pino reveló los valores más bajos y los mayores reservorios siempre fueron para los bosques de pino-aile y oyamel. Este hecho pudiera explicarse por la composición y la mayor magnitud de sus cubiertas vegetales, al estar mejor conservadas.

## **Conclusiones**

La cobertura tuvo efecto sobre los contenidos de carbono orgánico (COS) y nitrógeno total (Nt) del suelo con valores mayores para pino-aile, siguiéndole oyamel y por último pino. La influencia de la pendiente fue más irregular en los contenidos de COS y Nt al no seguir un mismo patrón de comportamiento ni en función de las coberturas ni de las profundidades. La profundidad fue el factor de mayor regularidad en la variación de los contenidos de COS y Nt, pues a medida que se incrementó la profundidad, disminuyeron ambos.

Los almacenes de los elementos de interés se ubican en los primeros 10 cm de profundidad, independientemente de la cobertura y la pendiente.

Los contenidos más importantes de COS y Nt se presentaron en las coberturas sin intervención pecuaria. El suelo bajo cobertura de oyamel, pendiente menor y profundidad de 0-10 cm registró los valores más destacados (132.20 y 14.19 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). El suelo bajo el bosque de pino, pendiente mayor y profundidad de 20-30 cm tuvo los contenidos más bajos (30.86 y 3.37 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

Se concluye que a pesar de tener el mismo clima la zona bajo estudio, los contenidos de COS y Nt mostraron diferencias por tipo de cobertura, por pendiente y por profundidad.

### **Agradecimientos**

La primera autora desea expresar su agradecimiento a la Universidad Autónoma Chapingo, y al posgrado de la División de Ciencias Forestales en particular, por la oportunidad de realizar los estudios de Maestría. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento brindado para lograrlo.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

Susana Madrigal Reyes: muestreo, preparación de muestras, sistematización de datos, elaboración del manuscrito; David Cristóbal Acevedo: apoyo en el muestreo, revisión de resultados de los análisis de laboratorio, apoyo en la interpretación de resultados y su discusión; Elizabeth Hernández Acosta: revisión y sugerencias al manuscrito; José Luis Romo Lozano: análisis estadístico de los datos y redacción del manuscrito.

## Referencias

- Aguilar V., B. y G. P. A. Plateros. 2003. Monitoreo de Vegetación y Fauna en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan. *In*: Memoria de la XIX Presentación de Trabajos de Investigación, Producción y Servicio de la Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. pp. 111-125.
- Alvarado, J., H. A. Castañeda Jair y M. Segura. 2013. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal* 16 (1): 21-31.
- Anaya, C. A., M. Mendoza, M. Rivera, R. Páez y L. D. Olivares-Martínez. 2016. Contenido de carbono orgánico y retención de agua en suelos de un bosque de niebla en Michoacán, México. *Agrociencia* 50: 251-269.
- Arzuaga, S. A., D. Marcela T., S. M. Contreras L. y S. Vázquez. 2016. Stocks y relaciones de estratificación del carbono y nitrógeno en oxisoles bajo sistemas forestales. *Asociación Argentina de Ciencias del Suelo* 34(1):13-20.
- Ávila, G., F. Jiménez; J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería de las Américas* 8(30): 32-35.
- Ávila, H., J. M. Harmand, E. Dambrine, F. Jiménez, J. Beer y R. Oliver. 2004. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica. *Revista Agroforestería en las Américas* 41: 83-91.
- Bastidas, A. 2000. Diagnóstico de fertilidad de suelos en pendientes inferiores a 25 %. Boconó, estado Trujillo. *Geoenseñanza* 5: 229-246.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36050205> (18 de mayo de 2017).
- Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47: 151-163.

Carvajal, A. F., A. Feijoo, H. Quintero y M. A. Rondón. 2009. Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 9(3): 222-235.

Celaya, M. H., O. García F., C. Rodríguez J. y V. A. Castellano E. 2015. Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link). *Revista Terra Latinoamericana* 33: 79-93.

González M., L., J. D. Etchevers B. y C. Hidalgo M. 2008. Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia* 42(7): 741-751.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140531952008000700001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952008000700001&lng=es&tlng=es) (25 de marzo de 2016).

Gutiérrez-Guzmán, B., J. D. Etchevers-Barra, A. Velázquez-Martínez y J. Almaraz-Suárez. 2005. Influencia del aile (*Alnus firmifolia*) en el crecimiento de plantas de *Pinus patula*. *Terra Latinoamericana* 23(1):89-96.

Herrera H., B. y B. D. Rodríguez. 1975. Estudio integrado de los recursos físicos naturales del área de Zoquiapan Boletín de Información Técnica del Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 30 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 1981. Carta Estatal de climas escala 1: 500 000. s/p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2013. Continúo de Elevaciones Mexicano 3.0.

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx> (2 de septiembre de 2015).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. IPCC Guidance for green house gas inventories – Cuadernillo de Trabajo (Volumen 2). <http://www.ipcc.ch> (10 de abril de 2017).

- Lozano G., B., L. Parras A. and E. C. Brevik. 2016. Impact of topographic aspect and vegetation (native and reforested areas) on soil organic carbon and nitrogen budgets in Mediterranean natural areas. *Science of the Total Environment* 544 :963-970.
- Matus, F. J., y Ch. R. Maire. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica* 60(2):112-126.
- National Atmospheric Deposition Program (NADP). 2000. Centro Internacional para la Educación Química. El Nitrógeno en la Lluvia Nacional, E.U., <http://nadp.sws.uiuc.edu/lib/brochures/nbrochespanol.pdf> (4 de septiembre, 2016).
- Orellana R., G., M. L. Sandoval S., G. Linares F., N. E. García C. y J. V. Tamariz F. 2012. Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *Revista Avances en Ciencias e Ingeniería* 3(1): 123-135.
- Orjuela C., J. A., P. B. Ramírez L y C. H. Andrade J. 2010. Potencial de almacenamiento de carbono en áreas de regeneración natural de paisajes ganaderos de la Amazonia colombiana. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias* 2(1):60-72.
- Pérez R. S., M. I. Ramírez, P. Jaramillo L. y F. Bautista. 2013. Contenido de Carbono Orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(1): 157-173.
- Peris M., M. B. 2013. El suelo como sumidero de CO<sub>2</sub>: Mapa de retención de CO<sub>2</sub> de las tierras de labor de los distintos países de la Unión Europea. *Revista de Medio Ambiente "Ojeando la Agenda"* 24: 27-16.
- Rey C., J. 1975. Estudios de suelo de la Estación de Enseñanza Investigación y Servicios Forestales de Zoquiapan, Universidad Autónoma Chapingo. Información técnica de bosques. Texcoco, Edo. de Méx., México. 64 p.

Rivas, Y., C. Oyarzún, R. Godoy y E. Valenzuela. 2009. Mineralización del nitrógeno, carbono y actividad enzimática del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst y una plantación de *Pinus radiata* D. Don. del centro-sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 82:119-134.

Sacramento J., A. A. S. D., A. C. D. Araújo M., M. E. Escobar O., F. A. D. Xavier S., A. C. Cavalcante R. and T. S. Oliveira D. 2013. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo 37(3): 784-795.

Sánchez J., R. C., D. L. Damián H., R. M. Cerón B., J. G. Cerón B. Retón, J. J. Guerra S., M. Rangel M. y J. C Zavala L. 2011. Determinación del carbono almacenado en suelo con asociación de mangle rojo en Nuevo Campechito, Campeche. U. Tecnociencia 5 (1): 1-7.

[http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia\\_enero\\_junio11/tema\\_1\\_determinacion\\_del\\_carbono.pdf](http://www.unacar.mx/contenido/tecnociencia/tecnociencia_enero_junio11/tema_1_determinacion_del_carbono.pdf) (1 de abril de 2017).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. NOM-021-RECNAT-2000, Que estable las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis para México. Diario Oficial de la Federación. diciembre 2002. México, D.F., México. (5 de abril de 2017).

Schargel, R. y P. Marvaez. 2009. Suelos. Estudio de los suelos y la vegetación (estructura, composición florística y diversidad) en bosques macrotérmicos no-inundables, Estado Amazonas, Venezuela. Biollania 9: 99-109.

Segura C., M. A., P. Sánchez G., C. A. Ortiz S. y M. C. Gutiérrez C. 2005. Carbono orgánico de los suelos de México. Terra Latinoamericana 23(1): 21-28.

Valtera, M., P. Samonil, M. Svoboda and P. Janda. 2015. Effects of topography and forest stand dynamics on soil morphology in three natural *Picea abies* mountain forest. Plant and Soil 392: 57-69. doi: 10.1007/s11104-015-2442-4.

Vega, A. R. 1982. Manual de la flora de la Estación Experimental de Enseñanza e Investigación y Servicios Forestales Zoquiapan. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. De Méx., México. 110 p.

Vela, C. G., G. M. L. Rodríguez y B. J. López. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas* 77:18-30.

Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29-38.