



Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo

Israel Cantú Silva^{1*}

María Inés Yáñez Díaz¹

¹Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

*Autor por correspondencia, correo-e: icantu59@gmail.com

Resumen:

Los suelos son el mayor reservorio de carbono, contienen casi tres veces más que la biomasa aérea. Los cambios de uso de suelo representan la segunda fuente antrópica de emisiones a la atmósfera. Se evaluó el contenido de carbono y nitrógeno en cuatro sistemas de uso de suelo: matorral espinoso tamaulipeco, cultivo agrícola, pastizal y plantación de eucaliptos. Se recolectaron cuatro muestras de suelo por sitio, a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm); se analizó el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), nitrógeno total (Nt) y se estimó la relación C/N. Los resultados del contenido de COS y Nt para la profundidad 0-5 cm fueron de 1.4-0.16 % (agrícola), 2.4-0.27 % (plantación), 3.41-0.33 % (pastizal) y 4.1-0.43 % (matorral), respectivamente. Para la profundidad 5-30 cm, los valores

disminuyeron. La relación C/N presentó registros de 8.7 a 10.4, en ambas profundidades; lo que indica una buena humificación de la materia orgánica. Las pérdidas de COS y Nt por los cambios de uso del suelo de matorral a otro sistema fluctuaron de 2.4 % hasta 66 %, el COS se redujo, principalmente, en la profundidad de suelo 0-5 cm; mientras que el Nt tuvo las mayores reducciones en la profundidad de 5-30 cm. Al sistema agrícola le correspondió una pérdida más alta de COS y Nt, en las dos profundidades. Los resultados evidencian que los cambios de uso de suelo ocasionan una disminución en la fertilidad, lo que se refleja en el sistema agrícola, donde los contenidos de C y Nt fueron más bajos, respecto a lo estimado en la vegetación de matorral.

Palabras claves: Carbono orgánico del suelo, fertilidad, Matorral Espinoso Tamaulipeco, nitrógeno, sistema de uso de suelo, Vertisol.

Fecha de recepción/Reception date: 4 de julio de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 27 de septiembre de 2017.

Introducción

El suelo constituye un reservorio importante de carbono, que funciona como fuente y sumidero de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, por lo cual tiene un papel fundamental en el cambio climático global (Llorente, 2004). Ordóñez y Masera (2001), citan que el CO_2 es uno de los gases de efecto invernadero más importantes y su emisión a la atmósfera, por el cambio en el uso del suelo, ocupa el segundo lugar a nivel mundial. El carbono almacenado en los suelos es casi tres veces mayor que en la biomasa aérea y, aproximadamente, el doble que en la atmósfera (Eswaran *et al.*, 1993).

El carbono es el elemento químico básico, tanto del CO₂ como del CH₄, de ahí la relevancia de analizar la cantidad que se libera de este, cuando ocurre cualquier cambio de uso de suelo. Su contenido total almacenado en la parte aérea de la biosfera terrestre (biomasa) se estima entre 420 y 660 Gt (10⁹ t, miles de millones de toneladas); mientras que en la parte subterránea (suelo) puede ser de 2 000 a 2 500 Gt. Por otra parte, la cantidad anual de carbono absorbido por las plantas oscila entre 90 a 120 Gt, y el carbono total emitido, actualmente a la atmósfera, cada año por el empleo de combustibles fósiles, se calcula de 5 a 6 Gt. La pérdida de carbono por las actividades humanas en la agricultura, debido a una acelerada mineralización de la materia orgánica varía de 40 a 90 Gt (de la Rosa, 2008).

El cambio de uso de suelo puede alterar, radicalmente, la cubierta vegetal aun en lapsos de tiempo breves, lo que provoca alteraciones en las propiedades físicas, químicas y microbianas del suelo. Los aportes continuos de materia orgánica, en forma de mantillo, reducen la densidad aparente y la erosión, incrementan la fertilidad, la tasa de infiltración y la retención de agua; en consecuencia, la biomasa vegetal se mantiene (Huang *et al.*, 2006; Jia *et al.*, 2011). Igualmente, conduce a una pérdida de carbono en el suelo, resultado de diversos grados de perturbación humana directa o indirecta, que constituye un importante factor de cambio global (Smith *et al.*, 2016).

Los factores edáficos como el pH, niveles de nutrientes, así como la calidad y cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) cambian con la profundidad (Rumpel y Kögel-Knabner, 2011; Eilers *et al.*, 2012). La MOS es uno de los principales factores que afectan otras propiedades edáficas (Murray *et al.*, 2014) y sus funciones, incluso la retención de agua (Carter, 2002), infiltración de aire, agua (Nimmo, 2004) y la estabilidad de agregados (Six, *et al.*, 2004); modifica la porosidad y capacidad de agua disponible que puede mejorar el desarrollo de las

raíces, estimula el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos directa o indirectamente, esto al suplir a los nutrientos (Darwish *et al.*, 1995).

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de su calidad, tanto en sus funciones agrícolas (producción y economía) como en las ambientales; es el principal determinante de la actividad biológica del suelo (Llorente, 2004). Está conformada por compuestos ricos en carbono, nitrógeno, fósforo y agua, principalmente, por lo que representa una fuente de nutrientes y de la energía que los microorganismos requieren para su desarrollo y metabolismo (Ferrera y Alarcón, 2001).

Los microorganismos del suelo son un componente esencial en el volumen de la materia orgánica; producen diferentes conjuntos de enzimas que degradan diversas moléculas (Baumann *et al.*, 2013) ya que al descomponerla rompen física y químicamente los detritos, los cuales al fragmentarse se convierten en compuestos orgánicos, y por último a nutrientes inorgánicos y CO₂ (Chapin *et al.*, 2013).

El carbono desempeña un papel central en el control de la tasa de ciclaje del nitrógeno. Suelos en los que el suministro de carbono coincide estrechamente con el ingreso de nitrógeno vía ciclaje, mantienen el nitrógeno dentro del sistema. Sin embargo, cuando los suelos están saturados de nitrógeno, pero son deficientes en carbono son más propensos a perder nitrógeno hacia el ambiente (Goulding *et al.*, 2001).

El nitrógeno es un elemento fundamental, necesario para el crecimiento microbiano y la degradación de la materia orgánica. Cuando esta tiene alto contenido de dicho elemento, los microorganismos cuentan con suficiente sustrato para inducir mayor velocidad de mineralización, ya que satisfacen plenamente sus requerimientos de N, por lo que no es un factor limitante para ellos. Por el contrario, si su contenido es bajo, la tasa de descomposición de la materia orgánica disminuye drásticamente, y la tasa de mineralización de carbono orgánico dependerá de la adición de fuentes nitrogenadas (Ferrera y Alarcón, 2001).

El nitrógeno es asimilado en una cantidad determinada por la biomasa microbiana, lo cual depende de la relación C/N. Específicamente, la cantidad de N requerida por los microorganismos es 20 veces menor que la de C. Si hay una concentración baja de compuestos de C fácilmente degradables y una cantidad de N mayor, con respecto a la requerida por la biomasa microbiana habrá una mineralización neta de N con liberación de N inorgánico disponible para las plantas (Diacono y Montemurro, 2010). Asimismo, la relación C/N es un parámetro que indica cuando la degradación de la materia orgánica se ha estabilizado (Isaza-Arias *et al.*, 2009).

Los vertisoles son suelos de gran importancia en el noreste de México, en particular en la región de Linares, N. L., ya que ocupan gran parte de la superficie sujeta a actividades productivas agrícolas o pecuarias, y sustentan a la mayoría de la vegetación nativa de importancia económica regional (Llorente, 2004).

El nombre vertisoles (del latín *vertere*, dar vuelta) se refiere al reciclado interno y constante del material edáfico (IUSS, 2007). Son arcillosos, profundos, muy agrietados en estado seco, de color oscuro, con una estructura prismática, resultado de la acción de las arcillas expandibles (Woerner, 1991). Ahora bien, al desmontar una zona de matorral se producen modificaciones considerables de la estructura y composición de su vegetación; por tanto, se incide en su potencial agropecuario, forestal y ecológico (Ruiz, 1990).

A partir de las consideraciones anteriores, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los cambios de uso del suelo en su contenido de carbono orgánico, de nitrógeno y en la relación C/N en un Vertisol bajo cuatro diferentes sistemas de uso de la tierra.



Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

Se localiza en el *campus* de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en las coordenadas geográficas 24°47'51'' N y 99°32'29'' O, con una altitud de 350 m, a 8 km al sur del municipio Linares, en el estado de Nuevo León, México (Figura 1). El clima es subtropical y semiárido, con verano cálido, la temperatura media mensual del aire oscila entre 14.7 °C en enero y 22.3 °C en agosto, con altas temperaturas diarias de 45 °C durante el verano. La precipitación media anual es de 805 mm, con una distribución bimodal; los meses de mayor precipitación son mayo, junio y septiembre (González *et al.*, 2004).



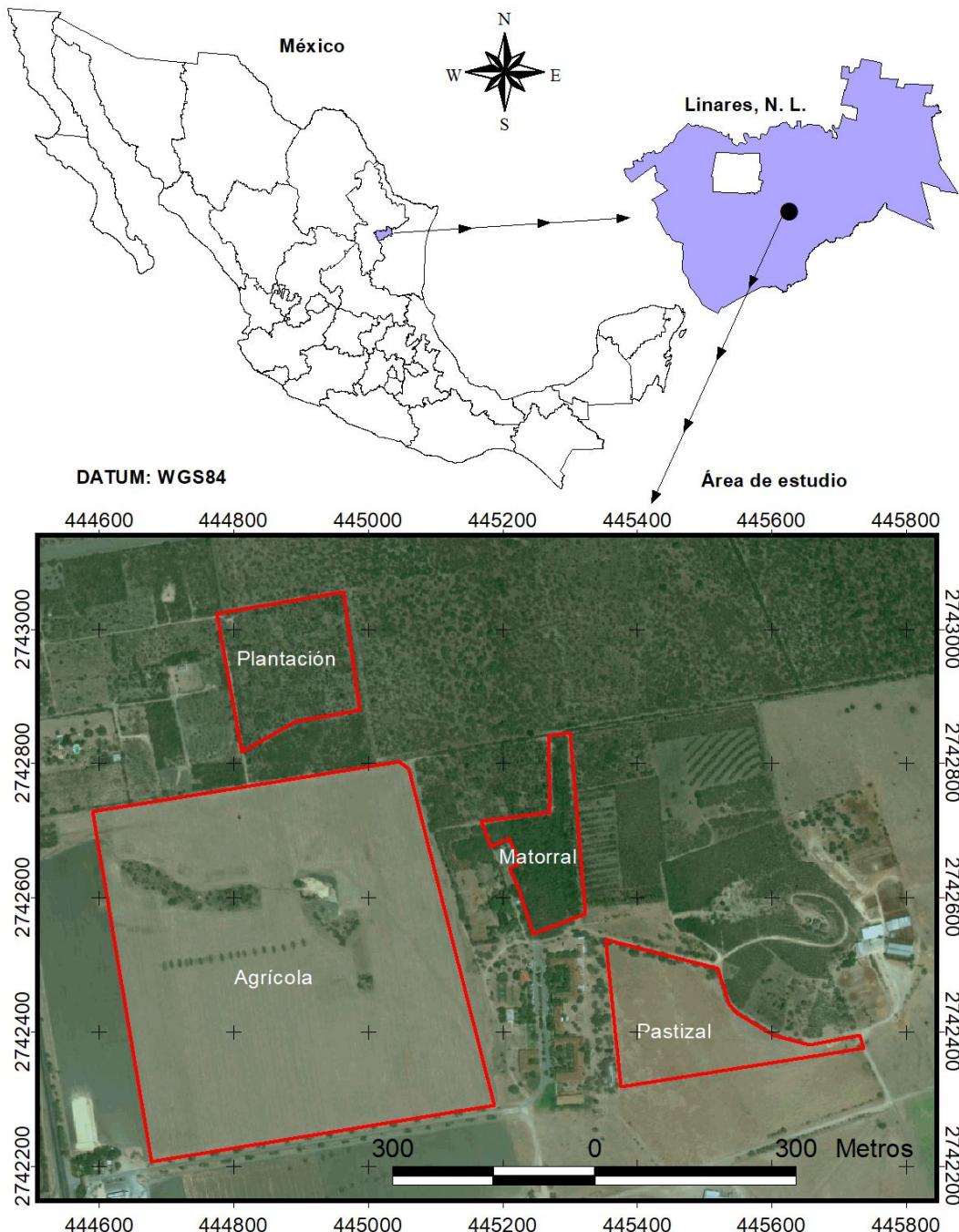


Figura 1. Localización del área de estudio.

Sistemas de uso del suelo y parcelas experimentales

En el sitio de investigación se seleccionaron cuatro parcelas experimentales con diferentes usos del suelo para evaluar el contenido del carbono orgánico del suelo (COS), el nitrógeno total (Nt) y su relación C/N. La primera condición fue una parcela de Matorral Espinoso Tamaulipeco; vegetación nativa dominada por arbustos diversos, densos y espinosos, los cuales se caracterizan por una amplia gama de patrones de crecimiento, diversas épocas de vida de las hojas, texturas y dinámicas de crecimiento con contrastantes desarrollos taxonómicos y fenológicos. En términos de productividad del matorral, se ha estimado que la biomasa aérea promedio y la producción anual de la misma, en peso seco es de 22 Mg ha⁻¹ y de 3.2 Mg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Villalón, 1989). El segundo uso del suelo corresponde a una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill. y *E. camaldulensis* Dehnh., ambas fueron plantadas en marco real (3 m × 3 m) hace 33 años, con fines de investigación. El tercer uso del suelo fue una parcela con pastizal que corresponde a un sistema de producción con ganadería intensiva y rotación de potreros. La especie de pasto perenne establecida es *Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf (Bluestem), que forma un macollo de hasta 60 cm. El cuarto uso de suelo fue un cultivo de *Sorghum bicolor* (L.) Moench en un campo bajo condiciones de temporal, con implementación de prácticas de agricultura de conservación, que debido a la capa protectora de residuos de cada cosecha se logran varios beneficios ambientales para el manejo del suelo, tales como la estabilización de la temperatura y de los niveles de humedad edáficas.

El tipo de suelo en los cuatro sistemas es Vertisol mázico pélico, el cual es profundo de coloración gris oscuro, clase textural arcillo-limoso, con altos contenidos de montmorillonita que se contraen i expanden, notablemente, en respuesta a cambios en el contenido de humedad (González *et al.*, 2011).

Muestreo del suelo en campo

En abril de 2016, se recolectaron cuatro muestras compuestas a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm), con cuatro submuestras cada una, para obtener aproximadamente 1 kg de suelo. El muestreo fue aleatorio en cada sistema de uso de suelo. Las muestras ($n=32$) se llevaron al laboratorio de Suelos y Nutrición de Bosques de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL, donde se secaron a la sombra, a temperatura ambiente, se cribaron con malla 0.2 mm y se prepararon para su análisis químico.

Materia orgánica y Nitrógeno total

La materia orgánica del suelo (MOS) se determinó usando el método *Walkley/Black* modificado (Woerner, 1989). Se realizó una digestión húmeda con ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y oxidación del carbono con dicromato de potasio 0.07M ($K_2Cr_2O_7$), agregando a 0.5 g de suelo, 25 mL de $K_2Cr_2O_7$ y 25 mL de H_2SO_4 y se tituló el exceso de dicromato con sulfato ferroso 0.2 M ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$). Mediante este procedimiento se obtuvo el contenido de materia orgánica y carbono orgánico del suelo (COS) bajo el supuesto de que la primera contiene 58 % de carbono (Castellanos *et al.*, 2000).

El nitrógeno total (Nt) se determinó por el método semimicro k (Woerner, 1989), con un *Micro Kjeldahl* modelo *RapidStill*, en el que se hizo una digestión por medio de ebullición de 0.1 g de suelo con 12 mL de H_2SO_4 y 0.3 g de mezcla de catalizador de sulfato de potasio y óxido de mercurio, destilación en medio alcalino ($NaOH$) y recolección con ácido bórico con indicador, y la medición del Nt a través de titulación con HCl 0.02N. La relación C/N se estimó con los datos obtenidos previamente de COS y Nt.

Análisis estadísticos

Las variables estudiadas se analizaron estadísticamente utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial, por usos de suelo (A, 4) y profundidad (B, 2) con cuatro repeticiones. Se aplicaron pruebas de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* y de homocedasticidad de *Levene*; asimismo, se sometió a transformación de datos de $1/x$ y la comparación de medias con la prueba de *Tukey* ($p \leq 0.05$) y correlaciones de *Pearson*. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete computacional *Statistical Package for the Social Sciences*, versión 17.0 para *Windows* (SPSS, 2009).

Resultados y Discusión

Los resultados para las variables MOS, COS, Nt y C/N para las profundidades 0-5 y 5-30 cm en los cuatro sistemas de uso de suelo, se muestran en los cuadros 1 y 2, respectivamente. En general, la profundidad de 0-5 cm, perteneciente al horizonte orgánico presentó valores más altos para todas las variables en los diferentes usos del suelo, en comparación a la profundidad de 5-30 cm.

Los contenidos más altos de MOS y COS se registraron en el área de matorral, a una profundidad de 0-5 cm, con valores promedios de 7.0 y 4.1 %, respectivamente, que corresponden a un suelo de contenido muy alto (Woerner, 1989). Por el contrario, el área agrícola tuvo los registros más bajos de los cuatro sistemas de uso de suelo, en las dos profundidades: MOS 2.46 y 2.1; COS 1.43 y 1.28, respectivamente; que la clasifica como de contenido mediano. Decremento que puede atribuirse a los procesos asociados a las prácticas agrícolas. Típicamente, los suelos con cultivos contienen

alrededor de 1-3 % de COS, mientras que los pastos y los suelos forestales presentan valores superiores, de acuerdo al tipo de vegetación que sustentan (Jenkins, 1988).

El contenido de nitrógeno (Nt) fluctuó en registros promedios de 0.14 % (agrícola 5-30 cm) a 0.43 % (matorral 0-5 cm). Fassbender (1987) documenta que el contenido de N total en los suelos tiene un intervalo amplio, pero es común el comprendido de 0.2 a 0.7 % para la denominada capa arable.

El orden de contenido de MOS y Nt para los diferentes usos del suelo en ambas profundidades fue el siguiente: Matorral > Pastizal > Plantación > Agrícola.

Los valores promedio de la relación C/N variaron de 5.6 (matorral 5-30 cm) a 10.4 (pastizal 0-5 y 5-30 cm); en general, cifras de C/N entre 4 y 12 indican un suelo equilibrado y propicio para la actividad microbiana (Kaye y Hart, 1997).



Cuadro 1. Valores medios (%) en profundidad de suelo 0-5 cm (n=4), para las variables evaluadas en los cuatro sistemas de uso de suelo.

Variable	Uso	Media	Mediana	Desv Std	Min	Max
MOS	Pastizal	5.88	6.00	0.60	5.05	6.45
	Matorral	7.00	7.02	1.80	5.16	8.80
	Plantación	4.09	4.03	0.34	3.76	4.54
	Agrícola	2.46	2.53	0.19	2.18	2.61
COS	Pastizal	3.41	3.48	0.35	2.93	3.74
	Matorral	4.06	4.07	1.04	2.99	5.10
	Plantación	2.37	2.34	0.20	2.18	2.63
	Agrícola	1.43	1.47	0.11	1.26	1.51
Nt	Pastizal	0.33	0.33	0.03	0.30	0.35
	Matorral	0.43	0.40	0.12	0.31	0.59
	Plantación	0.27	0.26	0.02	0.25	0.29
	Agrícola	0.16	0.16	0.01	0.15	0.18
C/N	Pastizal	10.37	10.42	0.58	9.66	10.96
	Matorral	9.59	9.52	0.78	8.72	10.61
	Plantación	8.91	8.83	0.49	8.47	9.53
	Agrícola	8.77	8.39	0.99	8.10	10.20

MOS = Materia orgánica; COS = Carbono orgánico; Nt = Nitrógeno total; C/N = Relación Carbón-Nitrógeno; Desv Std = Desviación estándar; Min = Mínimo; Max = Máximo.

Cuadro 2. Valores medios (%) en profundidad de suelo 5-30 cm (n=4), para las variables analizadas en los cuatro sistemas de uso de suelo.

Variable	Uso	Media	Mediana	Desv Std	Min	Max
MOS	Pastizal	3.31	3.36	0.54	2.61	3.92
	Matorral	3.39	3.44	1.46	1.75	4.94
	Plantación	2.91	3.01	0.27	2.52	3.12
	Agrícola	2.21	2.11	0.29	1.99	2.63
COS	Pastizal	1.92	1.95	0.31	1.51	2.27
	Matorral	1.97	2.00	0.84	1.01	2.87
	Plantación	1.69	1.75	0.16	1.46	1.81
	Agrícola	1.28	1.22	0.17	1.15	1.53
Nt	Pastizal	0.19	0.19	0.01	0.17	0.20
	Matorral	0.42	0.29	0.31	0.21	0.88
	Plantación	0.19	0.20	0.02	0.17	0.20
	Agrícola	0.14	0.15	0.02	0.12	0.16
C/N	Pastizal	10.36	10.14	1.55	8.72	12.45
	Matorral	5.58	5.58	2.43	3.26	7.90
	Plantación	8.91	8.86	0.14	8.80	9.12
	Agrícola	9.13	9.11	1.56	7.45	10.86

MOS = Materia orgánica; COS = Carbono orgánico del suelo;

Nt = Nitrógeno total; C/N = Relación Carbón-Nitrógeno; Desv Std = Desviación estándar; Min = Mínimo; Max = Máximo.

Con base en el análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas para las variables MOS, COS, Nt y C/N para el factor uso de suelo (FA), para el factor profundidad (FB); solo la relación C/N no presentó diferencias, en cambio fue la única con diferencias para la interacción (FA*FB) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza para el modelo con dos criterios de clasificación, (Uso del Suelo y Profundidad) y el contraste de *Levene*.

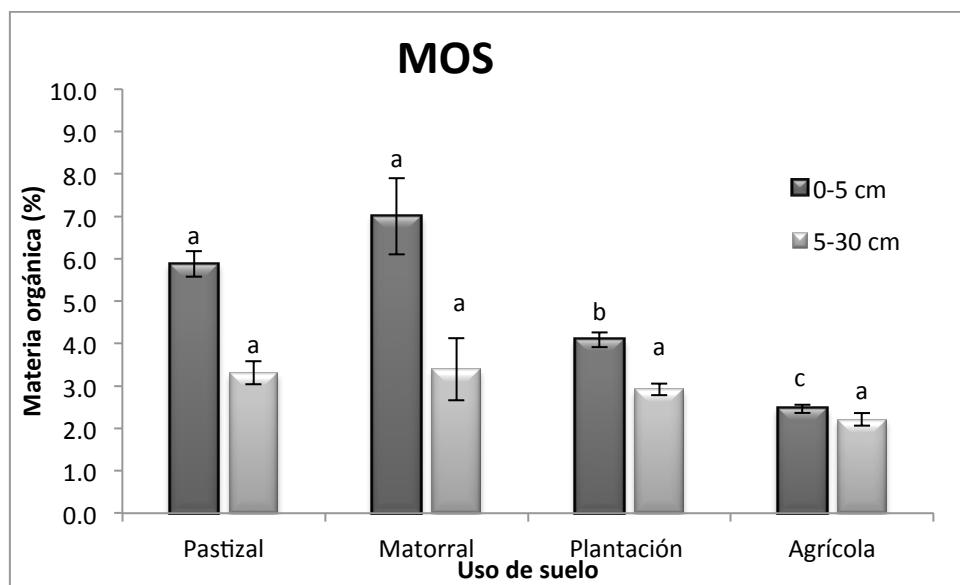
Variable	Modelo	FA^(a)	FB^(b)	FA*FB	Prueba de Levene^(c)	R² ajustada
	F_(7, 24)	F_(3, 24)	F_(1, 24)	F_(3, 24)	F_(7, 24)	
MOS ^(d)	9.772 (0.000)	13.191 (0.000)	24.077 (.000)	1.584 (0.219)	4.474 (0.003)	0.665
COS ^(d)	9.649 (0.000)	23.745 (0.000)	18.92 (0.000)	1.566 (0.223)	4.459 (0.003)	0.661
Nt ^(d)	19.069 (0.000)	33.788 (0.000)	26.858 (0.000)	1.754 (0.183)	1.978 (0.101)	0.803
C/N ^(d)	5.614 (0.001)	6.389 (0.002)	4.154 (0.053)	5.326 (0.006)	6.803 (0.000)	0.510

FA^(a) = Uso del suelo; FB^(b) = Profundidad; ^(c) = Para contrastar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas; ^(d) = Entre paréntesis se proporciona el valor de p.

MOS = Materia orgánica; COS = Carbono orgánico del suelo;

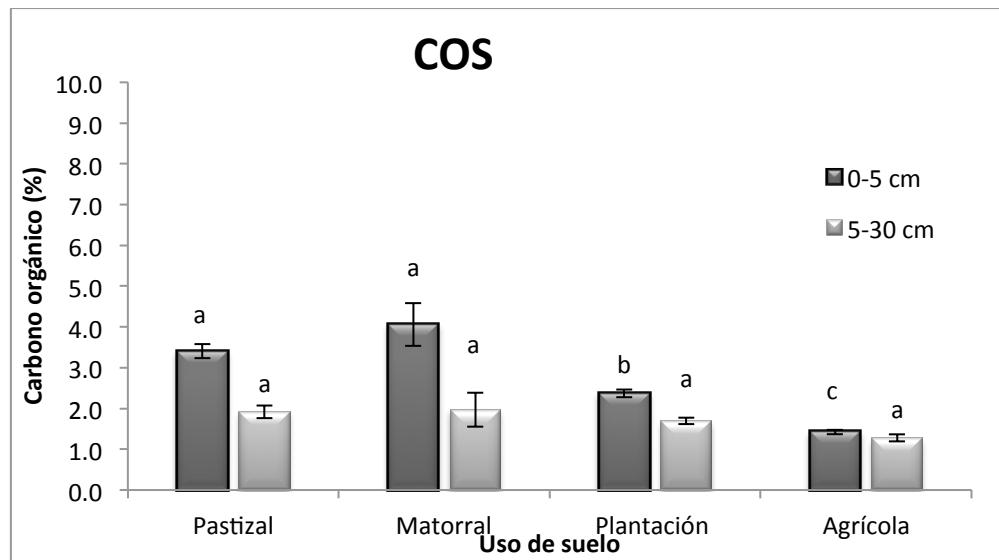
Nt = Nitrógeno total; C/N = Relación Carbón-Nitrógeno.

La prueba de *Tukey* para las variables MOS y COS evidenció solo diferencias para la profundidad 0-5 cm; el matorral y el pastizal fueron los sistemas con mayor contenido de MOS y COS, le siguieron en orden decreciente la plantación y con los valores más bajos, el sistema agrícola (figuras 2 y 3). Llorente (2004) registró en un Vertisol bajo tres usos del suelo (matorral, agrícola y vegetación secundaria), que el COS fue diferente entre los usos, únicamente, para los primeros 20 cm de profundidad, pero igual para las subsecuentes cinco profundidades, hasta 70 cm. Sus resultados concuerdan en que el matorral fue el sistema con mayor contenido de COS y el agrícola con el menor.



Medias con distinta letra en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (*Tukey p ≤ 0.05*).

Figura 2. Valores medios del contenido de materia orgánica del suelo (%) en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los cuatro usos de suelo.



Medias con distinta letra en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (*Tukey p ≤ 0.05*).

Figura 3. Valores medios del contenido de carbono orgánico del suelo (%) en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los cuatro usos de suelo.

El secuestro de carbono en los suelos ha sido bien documentado, así como la influencia de las prácticas de manejo (Nair *et al.*, 2015). Al respecto, Diacono y Montemurro (2010) citan que los cambios de uso de suelo, no sólo provocan efectos sobre sus propiedades bióticas y abióticas, sino también cambios en la composición de las comunidades microbianas. Así, el uso de la tierra durante las últimas décadas, en especial por la agricultura, ha causado que la calidad del suelo se modifique y disminuya su fertilidad (Anderson, 2003). El COS, a través de sus efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo es el principal determinante de su productividad (Martínez *et al.*, 2008).

Los resultados del COS en el matorral y el pastizal contrastan con lo observado por Campo *et al.* (2016), quienes consignan que la transformación del bosque a pastizal parece incrementar el almacenamiento de C en suelos del trópico seco de México. Sin embargo, Ross *et al.* (1999) citan en suelos de Nueva Zelanda, que los

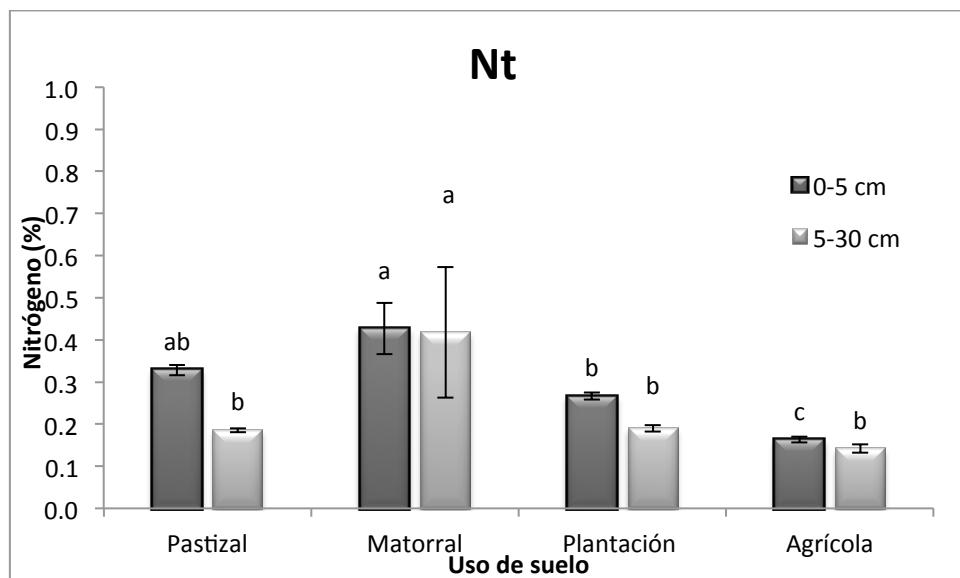
cambios en el contenido total de C fueron pequeños tras la conversión de pastizal a bosque de pinos. Mendham *et al.* (2003) documentaron que el cambio de uso del suelo de vegetación nativa a pastizal o de pastizal a plantaciones en el suroeste de Australia, no afectó significativamente el contenido promedio de carbono total en el horizonte superficial (0-5 cm), ni a profundidades superiores de 20 cm. No obstante, Vela *et al.* (2012) señalan resultados similares a los de la presente investigación, indican que los bosques naturales de oyamel contienen más COS (145.6 Mg ha^{-1}) que las áreas reforestadas con pinos (119.4 Mg ha^{-1}), y estos, a su vez, más que los pastizales (90.0 Mg ha^{-1}) y las tierras de cultivo (46.1 Mg ha^{-1}).

Por otra parte, Zabala y Gómez (2010) evaluaron la diversidad microbiana, en ecosistemas de sabana nativa convertidas a plantación de pino; demuestran que los hongos ectomicorrizógenos pueden contribuir a incrementar el contenido de carbono en los suelos.

Los resultados de la comparación de medias para Nt mostraron diferencias para los usos del suelo en las dos profundidades bajo estudio. Para la de 0-5 cm, el matorral y el pastizal presentaron los valores más altos de 0.43 y 0.33 %, respectivamente; mientras que el sistema agrícola tuvo el más bajo contenido (0.14 %).

Para la profundidad 5-30, el matorral mostró, de nuevo, el contenido más alto (0.42 %); el pastizal, la plantación y el sistema agrícola registraron contenidos menores e iguales estadísticamente (Figura 4). Estos datos concuerdan con Carvajal (2008), quien determinó que el carbono y el nitrógeno fluctúan entre las profundidades del suelo, en usos del terreno como pastizal que almacenaba la mayor cantidad de estos elementos en la capa superficial (0-10 cm); a diferencia de lo que ocurría en un cafetal variedad Colombia, donde se distribuían a través de la totalidad del perfil. Igualmente, Lawal *et al.* (2009) observaron en un Alfisol de Nigeria que el Nt disminuía al cambiar la vegetación nativa por una plantación de eucalipto, pero que aumentaba al modificarlo a un sistema agrícola; y señalan que esto se debía al efecto de los fertilizantes usados en la agricultura.

Gol (2009), en Turquía, cita que la conversión del bosque natural a cultivo continuo provoca disminuciones estadísticamente significativas en el contenido de MOS y Nt.



Medias con distinta letra en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (*Tukey p ≤ 0.05*).

Figura 4. Valores medios del contenido de Nitrógeno total del suelo (%) en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para cuatro usos de suelo.

El matorral parece ser el sistema de uso que redistribuye el Nt en ambas profundidades del suelo, debido, probablemente, a la presencia de taxa de la familia Fabaceae, los cuales aportan nitrógeno vía hojarasca, además constituyen 25 % del total de especies (González *et al.*, 2011). Asimismo, se asocian con la capacidad del potencial de fijación del nitrógeno simbiótico (Zitzer *et al.*, 1996).

Con base en la clasificación de Woerner (1989) para la valoración de MOS y Nt, los resultados fluctuaron entre valores medios a muy altos, con una textura arcillosa típica de suelo Vertisol. Al sitio de matorral le correspondió la categoría de muy alto contenido, tanto de materia orgánica como de nitrógeno; mientras que la agrícola

fue de contenido mediano para materia orgánica y adecuado para nitrógeno. Aunque el contenido en materia orgánica no registró diferencias para la profundidad de 5-30 cm, resultó mediano tanto para el pastizal como para la plantación y el uso agrícola; solo la vegetación de matorral tuvo un contenido alto (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valoración del contenido de materia orgánica y nitrógeno, de acuerdo a la clasificación de Woerner (1989).

Uso del Suelo	MOS		Nt	
	0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm
Pastizal	MA ^c	M ^a	A ^{ac}	AD ^{ab}
Matorral	MA ^c	M ^a	MA ^c	MA ^b
Plantación	A ^b	M ^a	A ^b	AD ^{ab}
Agrícola	M ^a	M ^a	AD ^a	AD ^a

Letras diferentes dentro de la columna indica diferencias significativas entre los sistemas de uso (*Tukey p≤0.05*)

M = Mediano; AD = Adecuado; A= Alto; MA= Muy Alto

Se estima que los suelos contienen el doble de carbono de la atmósfera, y su cantidad almacenada en el suelo depende del equilibrio entre la entrada de C por la hojarasca y detritos de la raíz y la salida de C por la respiración edáfica (Sofi *et al.*, 2016). De este modo, una manera indirecta para determinar una respuesta sensible de la actividad microbiana es mediante la determinación de la respiración basal, pues el flujo del CO₂ representa una medición integrada de la respiración de raíces, fauna y microorganismos del suelo y la mineralización del carbono desde diferentes fracciones de la materia orgánica (Acuña *et al.*, 2006).

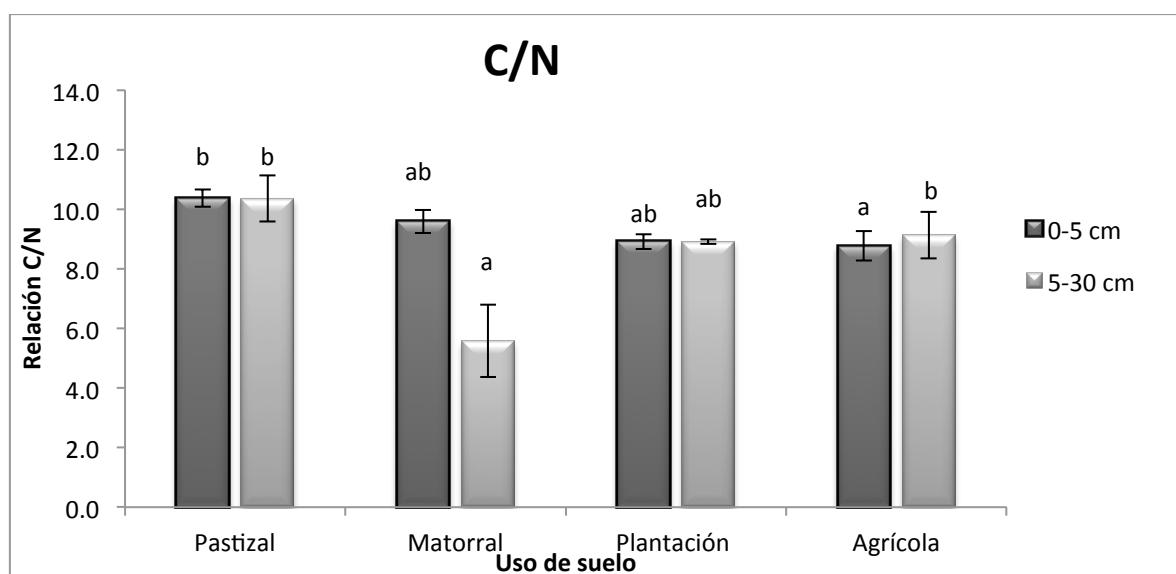
En el mismo sitio de estudio en Linares, NL., Cantú *et al.* (2010) y Yañez *et al.* (2017), midieron las emisiones del CO₂ en suelos Vertisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo, dichos autores señalan un decremento en las emisiones de CO₂ en el sistema agrícola, a diferencias de los sistemas de pastizal y matorral. De acuerdo con los resultados de la presente investigación, los sistemas de uso del suelo con mayor contenido de MOS y Nt tienen más alta respiración y actividad microbiana.

Las pérdidas de COS y Nt atribuibles al cambio de uso del suelo de matorral a otro sistema variaron de 2.4 % hasta 66 %, y la MOS se redujo, principalmente, en la profundidad 0-5 cm, mientras que el Nt registró las reducciones más grandes en la profundidad de 5-30 cm. El sistema agrícola fue el de mayor pérdida (Cuadro 5). Registros muy similares fueron documentados por Abera y Belachew (2011), en Bale, Etiopia, al analizar el contenido de COS y Nt para diferentes sistemas de uso del suelo. Igualmente, Vásquez y Macías (2017) determinaron, en promedio, una pérdida de 26 % del carbono total en suelos con cultivos, en comparación con los suelos de bosques. Llorente (2004) consigna que un Matorral Submontano sobre vertisoles, al convertirlo a un sistema agrícola evidenció una pérdida de COS de 37 % en los primeros 20 cm de profundidad y que el matorral fue el sistema de uso con los mayores contenidos de Nt.

Cuadro 5. Pérdidas de COS y Nt (%) en las profundidades de 0-5 y 5-30 cm. por efecto del cambio de uso del suelo con relación al matorral.

Uso del Suelo	COS (%)		Nt (%)	
	0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm
Pastizal	16	2.5	23	55
Plantación	42	14	37	55
Agrícola	65	35	63	66

La relación C/N, en general, fue baja para todos los sistemas de uso del suelo, con variaciones de 5.6 (matorral) a 10.3 (pastizal), lo que se considera una buena proporción para la mineralización de la MOS. La prueba de *Tukey* mostró significancia para las dos profundidades. En la profundidad 0-5 cm, el uso agrícola presentó la relación más alta C/N (8.7), igual al de la plantación y el matorral, pero difirió a la del pastizal (10.3). Por el contrario, en la profundidad de 5-30 cm al matorral le correspondió la mejor relación C/N (5.6), diferente al pastizal y al uso agrícola, 10.3 y 9.1, respectivamente (Figura 5).



Medias con distinta letra en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (*Tukey* $p \leq 0.05$).

Figura 5. Valores medios de la relación C/N en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los cuatro usos de suelo.

La correlación de *Pearson* fue alta entre el COS y el contenido de nitrógeno para las dos profundidades, mientras que entre la relación C/N y el contenido de nitrógeno solo se presentó en la profundidad 5-30 cm (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de correlación de *Pearson* para las variables COS, Nt y relación C/N, para las dos profundidades de suelo.

Profundidad		COS	Nt	C/N
0-5 cm	COS	1	0.000	0.018
	Nt	0.973**	1	0.123
	C/N	-0.582*	-0.401	1
5-30 cm	COS	1	0.032	0.480
	Nt	0.536*	1	0.005
	C/N	-0.190	0.668**	1

* Correlación significativa al nivel ($p \leq 0.05$); ** Correlación significativa al nivel ($p \leq 0.001$).

Conclusiones

Los resultados indican que un Vertisol bajo diversos sistemas de uso presenta diferencias en los contenidos de MOS, COS, Nt y en la relación C/N.

Los cambios perceptibles en la fertilidad del Vertisol, como resultado de las prácticas de uso del suelo, revelaron un contenido de MOS de mediano (agrícola) a muy alto (matorral y pastizal), mientras que para el Nt varía de adecuado (agrícola) a muy alto (matorral). La relación C/N, en general, es baja para todos los sistemas

de uso del suelo, de 5.6 (matorral) a 10.3 (pastizal); es decir, una proporción buena para la humificación y mineralización de la MOS.

Las pérdidas de MOS y Nt por los cambios de uso del suelo del matorral a otro sistema de uso varía desde 2.4 % hasta 66 %, la MOS se reduce, principalmente, en la profundidad 0-5 cm, mientras que el Nt presenta las mayores disminuciones en la profundidad de 5-30 cm. Al sistema agrícola le corresponden las pérdidas de MOS y Nt más grandes, en ambas profundidades.

La MOS y COS no registran diferencias en la profundidad 5-30 cm en los distintos usos del suelo. El contenido de MOS y Nt para los diferentes usos del suelo en ambas profundidades tiene el siguiente orden: Matorral > Pastizal > Plantación > Agrícola.

Los sistemas de uso de suelo influyen en el COS y el Nt en los vertisoles; en consecuencia, los suelos agrícolas registran contenidos más bajos que el resto de los usos, aun cuando se aplica la labranza cero, por lo que se sugiere el establecimiento de sistemas de cultivo más sostenibles, como la rotación de cultivos, la adición de materia orgánica y residuos de cultivos para revertir la situación.

La variación del COS y del Nt entre los sistemas de uso del suelo fue mínima en la capa inferior del suelo, en comparación con la superficial, lo cual implica que la capa superficial del suelo es más afectada por las prácticas de manejo. Sobre la base de estas conclusiones, es necesario desarrollar una política apropiada de uso de la tierra y prácticas sostenibles de manejo del suelo y de cultivo para combatir la degradación edáfica y mejorar la fertilidad en el área de estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Conacyt (beca de doctorado) y a la Universidad Autónoma de Nuevo León (proyecto PAICYT CT263-15) por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación. Asimismo, se agradece la asistencia técnica de laboratorio y campo a Rodolfo A. Martínez Soto. Se agradece a dos revisores anónimos por enriquecer y hacer observaciones críticas al presente documento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Israel Cantú Silva: diseño del experimento, análisis estadístico e interpretación de los resultados, diseño, redacción y corrección del manuscrito; María Inés Yáñez Díaz: desarrollo de la investigación en campo y laboratorio, estructura y diseño del manuscrito y revisión.

Referencias

- Abera, Y. and T. Belachew. 2011. Effects of land use on soil organic carbon and nitrogen in soils of Bale, southeastern Ethiopia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 229–235.

Acuña O., W. Peña, E. Serrano, L. Pocasangre, F. Rosales, E. Delgado, J. Trejos y A. Segura. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. XVII Reuniao Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisas de Bananas no Caribe e na América Tropical (Acorbat). 15-20 de outubro. Santa Catarina, Brasil. pp. 222-233.

Anderson, T. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment 98:285-293.

Baumann, K., M. Dignac, C. Rumpel, G. Bardoux, A. Sarr, M. Steffens and P. Maron. 2013. Soil microbial diversity affects soil organic matter decomposition in a silty grassland soil. Biogeochemistry 114:201-212.

Campo, J., F. García O., A. Navarrete S. y C. Siebe. 2016. Almacenes y dinámica del carbono orgánico en ecosistemas forestales tropicales de México. Terra Latinoamericana 34: 31-38.

Cantú, I., H. González and M. V. Gómez. 2010. CO₂ efflux in vertisol under different land use systems. Tropical and Subtropical Agroecosystems 12: 389-403.

Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management. Agronomy Journal 94: 38-47.

Carvajal, A. 2008. Relación del carbono y nitrógeno del suelo con usos y coberturas del terreno en Alcalá, Valle del Cauca. Tesis de Maestría en Ecotecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 104 p.

Castellanos, J. Z., B., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2^a. Edición. Colección INCAPA. Celaya, Gto., México. 226 p.

Chapin, F., P. Matson and P. Vitousek. 2013. Decomposition and ecosystem carbon budgets. In: Chapin, F., P. Matson and P. Vitousek (eds.). Principles of terrestrial ecosystem ecology. Second edition. Springer. New York, NY, USA. pp. 183-228.

Darwish, O. H., N. Persaud and D. C. Martens. 1995. Effect of long-term application of animal manure on physical properties of three soil. Plant Soil 176: 289-295.

- De la Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos, para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 404 p.
- Diaco, M. and F. Montemurro. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30:401-422.
- Eilers, K. G., S. Debenport, S. Anderson and N. Fierer. 2012. Digging deeper to find unique microbial communities: The strong effect of depth on the structure of bacterial and archaeal communities in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 50: 58-65.
- Eswaran, H., E. Van Den Berg and P. Reich. 1993. Organic carbon in soils of the world. Division S-5 notes. *Soil Science Society of America Journal* 57: 192-194.
- Fassbender, H. W. 1987. Química de Suelos, con énfasis en Suelos de América Latina. 2^a Edición. IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
- Ferrera, R. y A. Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia ergo sum* 8:175-183.
- Gol, C. 2009. The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. *Journal of Environmental Biology* 30: 825-830.
- González R., H., I. Cantú S., M. V. Gómez M. and R. G. Ramírez L. 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 58: 483–503.
- González R., H., G. T. Domínguez-Gómez, I. Cantú-Silva, M. V. Gómez-Meza, R. G. Ramírez-Lozano, M. Pando-Moreno and C. J. Fernández. 2011. Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico. *Plant Ecology* 212:1747-1757.
- Goulding, K. W. T., D. V. Murphy, A. Macdonald, E. A. Stockdale, J. L. Gaunt, L. Blake, G. Ayaga and P. Brookes 2001. The role of soil organic matter and manures in sustainable nutrient cycling. In: Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson C. (eds.). *Sustainable management of soil organic matter*. CAB International. Edinburgh, UK. pp. 221-342.

- Huang, Z. L., L. D. Chen, B. J. Fu, Y. H. Lu, Y. L. Huang and J. Gong. 2006. The relative efficiency of four representative cropland conversions in reducing water erosion: evidence from long-term plots in the loess Hilly Area, China. *Land Degradation & Development* 17: 615-627.
- Isaza-Arias, G. C., M. A. Pérez-Méndez, J. R. Laines-Canepa y G. Castañón-Nájera. 2009. Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y Ciencia* 25: 233-243.
- International Union of Soil Sciences (IUSS). 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos*. Núm. 103. FAO. Roma, Italia. 117 p.
- Jenkins, D. S. 1988. The turnover of organic matter in soil. In: Wild, A. (ed.). *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*. Longman Scientific and Technical. Harlow, Essex, UK. pp. 564-607.
- Jia, X. X., M. A. Shao, X. R. Wei, R. Horton and X. Z. Li. 2011. Estimating total net primary productivity of managed grasslands by a state-space approach in a small catchment on the Loess Plateau, China. *Geoderma* 160: 281-291.
- Kaye, J. P. and S. C. Hart. 1997. Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. *Tree* 12:139-143.
- Lawal, H. M., J. O. Ogunwole and E. O. Uyovbisere. 2009. Changes in soil aggregate stability and carbon sequestration mediated by land use practices in a degraded dry savanna Alfisol. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 423 – 429.
- Llorente, M. 2004. Caracterización física y química de vertisoles del noreste de México sometidos a distintas formas de manejo. Tesis Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México. 98 p.

- Martínez H., E., J. P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 8: 68-96.
- Mendham, D. S., A. M. O'Connell and T. S. Grove. 2003. Change in soil carbon after land clearing or afforestation in highly weathered lateritic and sandy soils of south-western Australia. *Agriculture Ecosystems and Environment* 95:143-156.
- Murray, R. M., M. G. Orozco, A. Hernández, C. Lemus y O. Nájera. 2014. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances de Investigación Agropecuaria* 18: 23-31.
- Nair, R., C. R. Mehta and S. Sharma. 2015. Carbon sequestration in soils - A Review. *Agricultural Reviews* 36: 81-99.
- Nimmo, J. R. 2004. Porosity and pore size distribution. In: Hillel, D. (ed.). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier. London, England. pp. 295-303.
- Ordóñez, J. A. B y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7: 3-12.
- Ross, D. J., K. R. Tate, N. A. Scott and C. W. Feltham. 1999. Land-use change: effects on soil carbon, nitrogen and phosphorus pools and fluxes in three adjacent ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 803-813.
- Ruiz M., M. A. 1990. Zur Gliederung, Verbreitung und ökologischen Bewertung der Böden in bder region von Linares. N.L. Mexiko. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Trropen und Subtropen*. Heft 56. Goltze. Göttingen, Deutschland. 184 p.
- Rumpel, C. and I. Kögel-Knabner. 2011. Deep soil organic matter a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant Soil* 338: 143-158.
- Six, J., H. Bossuyt, S. D. Degryze and K. Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res* 79: 7-31.

Smith, P., J. I. House, M. Bustamante, J. Sobock, R. Harper, G. Pan, P. C. West, J. M. Clark, T. Adhya, C. Rumpel, K. Paustian, P. Kuikman, M. F. Cotrufo, J. A. Elliott, R. McDowell, R. I. Griffiths, S. Asakawa, A. Bondeau, A. K. Jain, J. Meersmans and T. A. M. Pugh. 2016. Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology* 22:1008-1028.

Sofi, J., A. Lone, M. Ganie, N. Dar, S. Bhat, M. Mukhtar, M. Dar and Ramzan. 2016. Soil microbiological activity and carbon dynamics in the current climate change scenarios: A review. *Pedosphere* 26(5): 577-591.

Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2009. Statistical Package for the Social Sciences. Standard released version 17.0 for Windows. SPSS Inc. Chicago, IL, USA. n/p.

Vásquez P., J. R. y F. Macías V. 2017. Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia. *Terra Latinoamericana* 35: 7-17.

Vela, G., J. López y M. Rodríguez. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Boletín del Instituto de Geografía* 77: 18-30.

Villalón, H. M. 1989. Ein Beitrag zur Verwertung von Biomasseproduktion und deren Qualität für die forst- und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Gemeinde Linares, N.L., Mexiko. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*. Heft 39. Goltze. Göttingen, Deutschland. 165 p.

Woerner, M. 1989. Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Departamento Agroforestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, NL., México. 105 p.

Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación de matorral del noreste de México, descritos a través de ejemplos en el campus universitario de la UANL, Linares, NL.

Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Reporte Científico Núm. 22 Linares, NL., México. 116 p.

Yañez D., M. I., I. Cantú S., H. González R., J. G. Marmolejo M., E. Jurado y M. V. Gómez, M. 2017. Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 8 (42): 123-149.

Zabala M. y Y. Gómez. 2010. Biomasa fúngica y bacteriana como indicadoras del secuestro de C en suelos de sabanas sustituidos por pinares en Uverito, Venezuela. Revista de Biología Tropical 58:977-989.

Zitzer, S. F., S. R. Archer and T. W. Boutton. 1996. Spatial variability in the potential for symbiotic N₂ fixation by woody plants in a subtropical savanna ecosystem. Journal of Applied Ecology 33:1125-1136.