



DOI: [10.29298/rmcf.v14i79.1339](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1339)

Artículo de Investigación

Reservorio de carbono y nitrógeno en un suelo Cambisol bajo dos usos de suelo en Linares, Nuevo León, México

Carbon and nitrogen stock in a Cambisol soil under two land uses in *Linares, Nuevo Leon, Mexico*

Rodolfo Alejandro Martínez Soto¹, Israel Cantú Silva^{1*}, María Inés Yáñez Díaz¹, Humberto González Rodríguez¹, Silvia Janeth Béjar Pulido²

Fecha de recepción/Reception date: 23 de febrero de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 13 de junio de 2023.

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

²Instituto Tecnológico de El Salto. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: icantu59@gmail.com

*Corresponding author; e-mail: icantu59@gmail.com

Resumen

El Carbono orgánico del suelo está relacionado con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y el Nitrógeno es un macroelemento esencial en el crecimiento de las plantas. Con el fin de conocer los reservorios de Carbono y Nitrógeno en un Cambisol, se realizó un estudio en Linares, Nuevo León, México. Se recolectaron cuatro muestras compuestas ($n=4$) (submuestras individuales) a cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60 y 60-100 cm), en dos usos del suelo: Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) y Pastizal inducido de uso pecuario, para un total de 40 muestras (20 por uso de suelo). Las variables químicas analizadas fueron porcentaje de Carbono orgánico del suelo (COS), Nitrógeno total (Nt), y se estimó la relación C:N. Asimismo, se determinó la densidad aparente (Da) para estimar el almacén de COS y Nt ($Mg\ ha^{-1}$). Las concentraciones medias de COS y Nt para el MET fueron de 2.87 y 0.28 %, y para el Pastizal de 2.21 y 0.21 %, respectivamente. Los análisis estadísticos mostraron diferencias en los reservorios de COS y Nt entre usos del suelo y profundidades. Los almacenes en el perfil analizado (0-100 cm) fueron de 164.99 y 19.83 $Mg\ ha^{-1}$ para el MET, y para Pastizal de 146.07 y 17.81 $Mg\ ha^{-1}$, respectivamente. El promedio de la relación C:N para el MET fue de 9.28 y en Pastizal de 10.73. El cambio de uso de suelo del MET a Pastizal provocó una disminución en las reservas de COS y Nt de 11.47 y 10.17 %, respectivamente.

Palabras clave: Almacén, estratos, Matorral Espinoso Tamaulipeco, Pastizal, perfil de suelo, relación C:N.

Abstract

The organic Carbon of the soil is related to the physical, chemical, and biological properties of the soil, while Nitrogen is an essential macroelement in plant growth. To know the Carbon and Nitrogen stock in a Cambisol, a study was carried out in *Linares, Nuevo León, Mexico*. Four composite samples ($n=4$) (individual subsamples) were collected at five depths (0-5, 5-15, 15-30, 30-60 and 60-100 cm), in two land uses: Tamaulipan Thorny Scrub (MET) and Induced Grassland for livestock use, obtaining 40 samples in total (20 each land use); the chemical variables analyzed were soil organic Carbon percentage (COS), total Nitrogen (Nt) and the ratio C:N was estimated. Likewise, bulk density (Da) was determined to calculate the COS and Nt storage ($Mg\ ha^{-1}$). The mean percentage of COS and Nt for the MET were 2.87 and 0.28 %, and Grassland were 2.21 and 0.21 %. Statistical analyses showed that there are differences in the COS and Nt reservoirs between land uses and depths. The COS and Nt reservoirs in the entire profile analyzed (0-100 cm) for the MET were 164.99 and 19.83 $Mg\ ha^{-1}$, and for Grassland 146.07 and 17.81 $Mg\ ha^{-1}$, respectively. While the average C:N ratio for the MET was 9.28 and Grassland was 10.73. Change in land use from MET to Grassland caused a decrease in the COS and Nt reservoirs of 11.47 and 10.17 %, respectively.

Key words: Storage, strata, Tamaulipan Thornscrub, Grassland, soil profile, C:N ratio.

Introducción

El suelo es un recurso esencial para la sustentabilidad ambiental, pues se relaciona directamente con el ciclo hidrológico y los ciclos biogeoquímicos. Sin embargo, su deterioro va en aumento debido a la presión que se ejerce por el incremento en la producción agrícola y pecuaria para satisfacer la demanda alimentaria (Burbano-Orjuela, 2016).

Uno de los servicios ecosistémicos que el suelo provee es la captura de Carbono, y esto lo convierte en un factor clave para la mitigación del cambio climático (Wagner-Riddle *et al.*, 2007). Burbano (2016) señala que los suelos tienen la capacidad de almacenar hasta 1 500 Pg de C a 1 metro de profundidad. Por otra parte, Batjes (2014) menciona que los contenidos de C y N en el suelo están en función del uso de suelo, y se estima que la disponibilidad de Carbono orgánico del suelo (*COS*) y Nitrógeno total (*Nt*) en los primeros 100 cm de suelo varía de 1 462 a 1 548 Pg de C y 133 a 140 Pg de *Nt*. Sin embargo, a nivel mundial el suelo es sometido a diferentes actividades antropogénicas que están relacionadas con la degradación del suelo y alteran su capacidad como reservorio.

El cambio de uso de suelo afecta el reservorio de *COS* y la disponibilidad de Nitrógeno; dichos elementos son fundamentales para mantener la calidad y salud de suelo (Cantú y Yáñez, 2018).

Se estima que 80 % del Carbono que la vegetación y los suelos intercambian con la atmósfera corresponde a los bosques (Galicia *et al.*, 2016). El Carbono (C) al incorporarse en el crecimiento de los árboles, estos actúan como sumideros ($2.30 \text{ Gt C año}^{-1}$) y desempeñan un papel importante en el balance de Carbono, lo que

contribuye a reducir el contenido de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera procedente de las emisiones antropogénicas (Pardos, 2010).

Las reservas de Carbono y Nitrógeno del suelo fluctúan de acuerdo con el tipo de suelo, condiciones climáticas, geográficas, tipos de ecosistemas y usos del suelo (Hume *et al.*, 2018); además, son indicadores de la calidad de la materia orgánica (Luna *et al.*, 2023). Particularmente, el C es un componente clave en los ciclos biogeoquímicos, y el N es el encargado de definir la productividad del ecosistema (Di Gerónimo *et al.*, 2018).

Por otra parte, la relación C:N es un buen indicador de la calidad de la materia orgánica del suelo, y está asociado a la velocidad de la mineralización del Nitrógeno. Gamarra *et al.* (2018) señalan que relaciones entre 10 y 14 se generan a partir de una rápida mineralización, la cual produce suficiente N para los microorganismos, mientras que relaciones altas (>20) indican una lenta descomposición.

Los lugares más áridos del territorio mexicano son ocupados por matorrales y pastizales, cubren la mayor parte de la planicie del estado de Nuevo León y brindan servicios ecosistémicos a más de la mitad de la población mexicana (Briones *et al.*, 2020). Por otra parte, se considera que los pastizales y hábitats naturales tienen un alto potencial de reservorio de Carbono y Nitrógeno; sin embargo, la mayoría de los estudios están enfocados en analizar las capas superficiales (0-40 cm), lo que propicia incertidumbre acerca del comportamiento del Carbono y el Nitrógeno en estratos más profundos (Ward *et al.*, 2016).

Jurado-Guerra *et al.* (2021) indican que los pastizales en México ocupan una superficie aproximada de 9 millones de hectáreas, y con un sistema de uso de pastoreo moderado presentan reservorios de COS de 24 a 34 Mg ha⁻¹ en los primeros 30 cm del suelo.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de cambio de uso de suelo sobre los reservorios de *COS* y *Nt*, así como su distribución en diferentes estratos de profundidad en un Cambisol.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el ejido San Rafael, municipio Linares, Nuevo León; coordenadas UTM zona 14: 430500 E y 2737400 N, el cual presenta una precipitación media anual de 989.4 mm, una temperatura media anual de 21.3 °C y una altitud de 441 m (García, 2004). Dicha área pertenece a la Llanura Costera del Golfo Norte conformada por lomeríos suaves y llanuras (INEGI, 1986) (Figura 1).

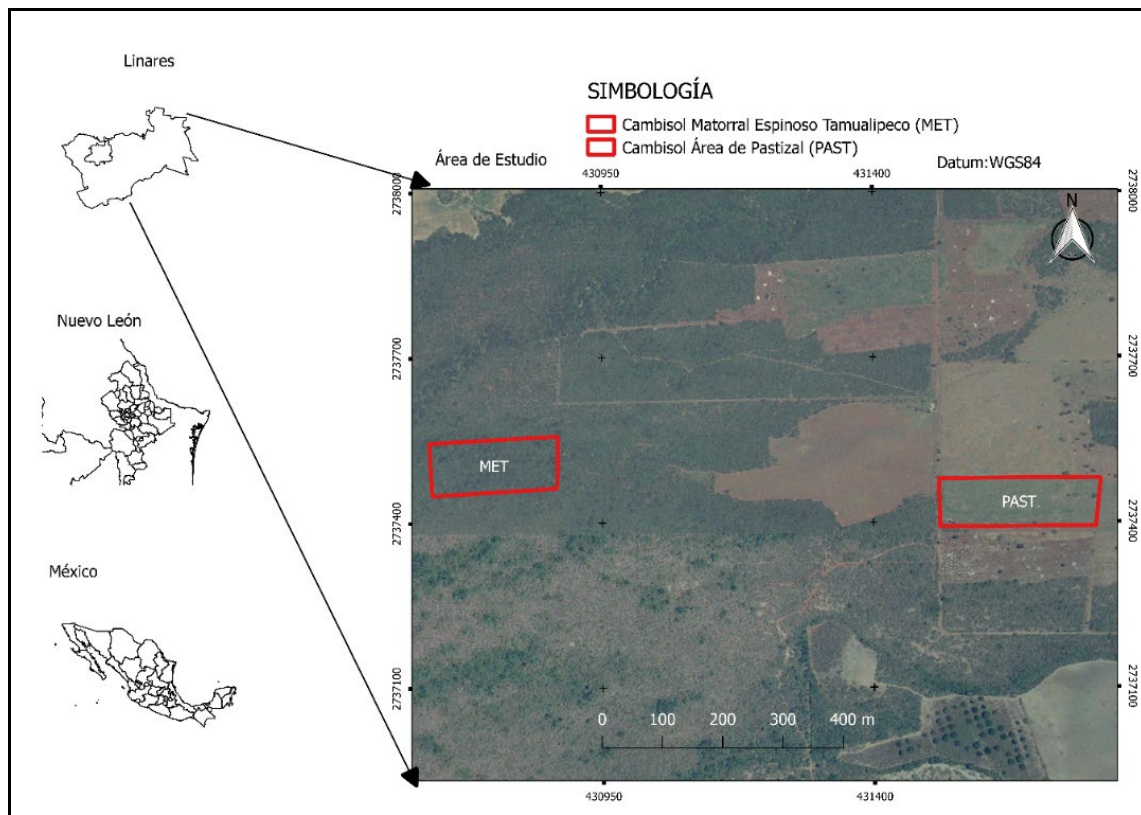


Figura 1. Localización del área de estudio.

Usos del suelo

Matorral Espinoso Tamauilpeco: vegetación nativa de la zona, constituido por más de 50 especies arbóreas y arbustivas (1 a 5 m de altura), sin intervención, entre las que predominan *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn., *Yucca filifera* Chabaud, *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J. W. Grimes, *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst., *Cordia boissieri* A. DC., entre otras (Patiño-Flores *et al.*, 2022).

Pastizal inducido: corresponde a un sistema de pastoreo intensivo con rotación en potreros y una carga de 8 UA ha⁻¹, con periodos de descanso de 8 y 5 semanas en temporada de sequía y lluvias, respectivamente y una antigüedad de 20 años.

Suelo Cambisol

Se seleccionó un suelo Cambisol, cuyo nombre proviene del latín *Cambiare*, que significa cambiar. Son suelos jóvenes en los que se percibe modificación en las arcillas entre los horizontes, no muestran una distribución específica en ningún tipo de clima determinado, presentan acumulaciones moderadas de hierro, manganeso y arcilla, se caracterizan por una buena estabilidad estructural, alta porosidad y retención de humedad, textura media y un buen drenaje, pH neutro a ligeramente ácido, con buena fertilidad y actividad biológica (INEGI, 2015; IUSS, 2015).

Recolección de muestras

El muestreo se realizó en junio de 2021. Se seleccionaron dos parcelas de 400 m² para cada uso de suelo (MET y pastizal). Se recolectaron cuatro muestras compuestas ($n=4$) (submuestras individuales) de 1.5 kg a cinco profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60 y 60-100 cm) (Ward *et al.*, 2016; Conafor, 2017; Lefèvre *et al.*, 2017), que sumaron 40 muestras en total (20 por uso de suelo). Simultáneamente,

se extrajeron 4 muestras inalteradas para el cálculo de la densidad aparente (D_a) en cada profundidad; para ello se introdujo un cilindro metálico (marca *Soilmoisture*[®], modelo 0200) de 5 × 5 cm, se secó a 105 °C durante 48 horas en una estufa de secado (*Shel lab*[®], modelo CE5F), y posteriormente se pesaron para determinar su masa en una báscula (*Sartorius*[®], modelo cp2202S) (Blake y Hartge, 1986). La densidad aparente es la masa por unidad de volumen incluyendo su espacio poroso (Gabriels y Lobo, 2006). En este estudio se utilizó la densidad aparente para calcular la cantidad de Carbono y Nitrógeno almacenados en el suelo Cambisol.

Todas las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos y Nutrición de Bosques del Departamento Agroforestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Análisis de las propiedades químicas

El análisis del contenido de Carbono orgánico del suelo se determinó con el método de combustión húmeda según *Walkley-Black* para la obtención de materia orgánica y se aplicó el factor de corrección de *Van Bemmelen* (Semarnat, 2002; Ramos-Hernández y Martínez-Sánchez, 2020). Mientras que el Nitrógeno total se obtuvo por el método de digestión *Kjeldahl* (Bremner y Mulvaney, 1982), mediante el equipo *Velp Scientifica*[®] modelo UDK159. La relación C:N se estimó a partir de los valores del CO_2 y del N_t (Semarnat, 2002).

Reservorio de *COS* y *Nt*

Para el reservorio de *COS* (Mg ha^{-1}) y *Nt* (Mg ha^{-1}), se utilizó el porcentaje de ambos, la densidad aparente (Da , g cm^{-3}) y el estrato de profundidad del suelo (Eps , cm) con la aplicación de las siguientes ecuaciones (González-Molina *et al.*, 2008):

$$COS (\text{Mg ha}^{-1}) = COS \% \times Da \times Eps \quad (1)$$

$$Nt (\text{Mg ha}^{-1}) = Nt \% \times Da \times Eps \quad (2)$$

Donde:

COS = Carbono orgánico del suelo

Da = Densidad aparente

Eps = Estrato de profundidad del suelo

Nt = Nitrógeno total

Además, se calculó el reservorio acumulado de ambas variables en todo el perfil (0-100 cm) a partir de la sumatoria de los cinco estratos en cada uso del suelo.

Análisis estadístico

Con los datos reunidos, se realizaron pruebas de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* y homocedasticidad de *Levene* (Flores y Flores, 2021). El reservorio acumulado de *Nt* (Mg ha^{-1}) en el perfil de 0-100 cm no cumplió con el supuesto de normalidad, por ello se emplearon pruebas no paramétricas para comparar entre usos de suelo (*U* de *Mann-Whitney*) (Steel y Torrie, 1980). La variable de reservorio acumulado de *COS* (Mg ha^{-1}) en el perfil de 0-100 cm se analizó con la prueba de *t-Student* para detectar diferencias entre usos de suelo (Sánchez, 2015).

Asimismo, la variable *COS* (Mg ha^{-1}) por estratos de profundidad no cumplió con ambos supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, por lo que se aplicó la prueba de *Kruskal-Wallis* para detectar diferencias en cada uso de suelo (Sánchez-López *et al.*, 2015); para la variable de *Nt* (Mg ha^{-1}) por estratos, se utilizó un análisis de varianza y su respectiva prueba de *Tukey* (Gómez *et al.*, 2019).

En cuanto a la relación C:N se utilizó una prueba de *t-Student* para comparar entre usos de suelo, así como un análisis de varianza y su respectiva prueba de *Tukey* para estratos (Berlanga y Rubio, 2012). Todos los análisis se realizaron con el programa SPSS® (*Statistical Package for Social Sciences*, SPSS), versión estándar 22 para *Windows* (IBM, 2013).

Resultados

Los valores medios del porcentaje de *COS* y *Nt*, así como la densidad aparente para cada uso de suelo (MET y Pastizal) registraron, de manera general, una disminución

en los porcentajes de Carbono y Nitrógeno a medida que se incrementaba la profundidad del suelo; los estratos con los valores más altos y bajos se observaron en las profundidades 0-5 cm y 60-100 cm, respectivamente, en MET y Pastizal. La densidad aparente presentó variaciones entre profundidades en cada uso de suelo, en las que se detectó un incremento en el MET y Pastizal a medida que aumenta la profundidad del suelo, con excepción del estrato 60-100 cm en Pastizal, donde se perfila un ligero decremento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores medios del *COS*, *Nt* y densidad aparente para los dos usos de suelo y estratos de profundidad.

Variable	Uso de suelo	Promedio (cm)					Profundidad
		0-5	5-15	15-30	30-60	60-100	
<i>COS</i> (%)	MET*	5.99	5.17	1.53	0.88	0.78	2.87
	Pastizal**	5.09	2.57	1.46	1.05	0.90	2.21
<i>Nt</i> (%)	MET*	0.61	0.30	0.21	0.15	0.13	0.28
	Pastizal**	0.42	0.18	0.15	0.17	0.12	0.21
<i>Da</i> (g cm ⁻³)	MET*	0.87	0.97	1.07	1.12	1.15	1.04
	Pastizal**	1.13	1.14	1.16	1.17	1.06	1.13

*MET = Matorral Espinoso Tamaulipeco; **Pastizal inducido de uso pecuario.

Reservorio de *COS* (Mg ha⁻¹)

Los hallazgos obtenidos a través de la prueba *t-Student* ($p \leq 0.05$) indicaron que existen diferencias significativas en el reservorio de *COS* entre los distintos usos del suelo en el perfil analizado de 0 a 100 cm de profundidad.

El MET registró una reserva promedio de $164.99 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COS, mientras que el Pastizal presentó una reserva promedio de $146.07 \text{ Mg ha}^{-1}$, lo que representa una diferencia de 18.93 Mg ha^{-1} entre ambos usos, tal como se aprecia en la Figura 2.

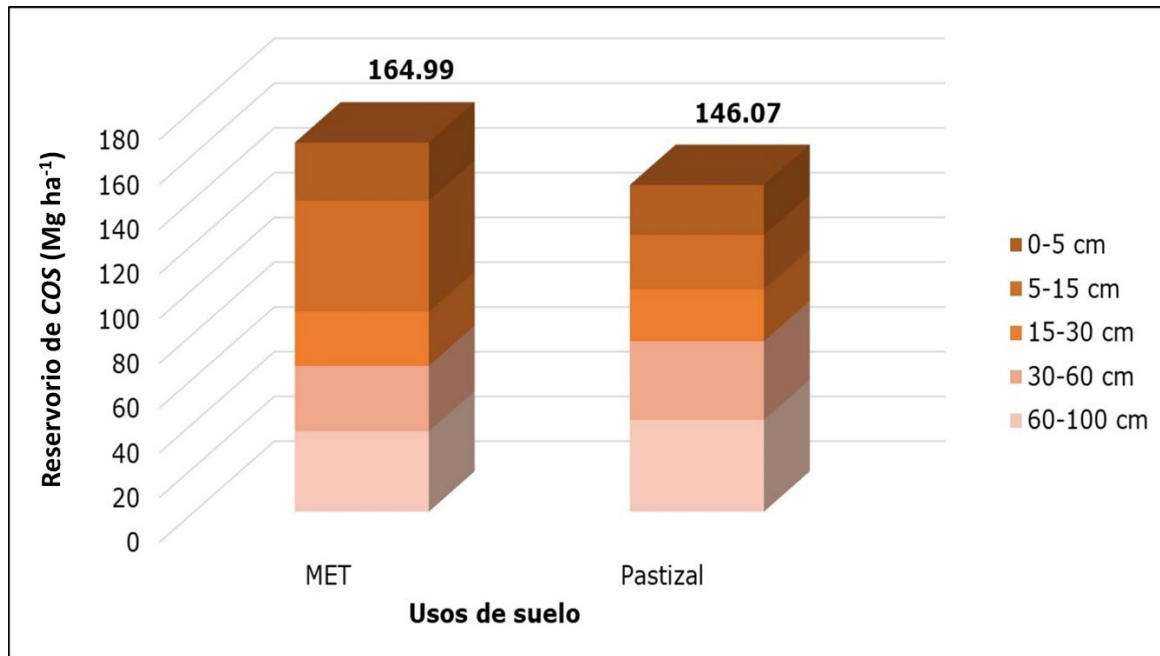


Figura 2. Reservorio de Carbono acumulado en el perfil 0-100 cm para dos usos de suelo: Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) y Pastizal inducido de uso pecuario.

La prueba de *Kruskal-Wallis* reveló diferencias significativas entre los distintos estratos de profundidad para cada uno de los usos del suelo. Además, se identificó que el reservorio de COS varió entre 24.22 y 49.72 Mg ha^{-1} en distintos estratos de profundidad para el MET; en el Pastizal esta variable fluctuó entre 22.26 y 41.07 Mg ha^{-1} (Cuadro 2).

Cuadro 2. Reservorios promedio de COS (Mg ha^{-1}) en los diferentes estratos de profundidad en dos usos de suelo.

Usos del suelo	Profundidad (cm)					Chi cuadrado	Valor de <i>p</i>
	0-5	5-15	15-30	30-60	60-100		
MET*	25.89	49.72	24.22	29.26	35.91	12.75	0.013***
Pastizal**	22.36	24.31	23.21	35.12	41.07	14.47	0.006***

*MET = Matorral Espinoso Tamaulipeco; **Pastizal inducido de uso pecuario.

***Denotan diferencias significativas entre profundidad (*Kruskal-Wallis* $p \leq 0.05$)

Reservorio de *Nt* (Mg ha⁻¹)

La prueba de *U Mann-Whitney* ($p \leq 0.05$) arrojó resultados que indican diferencias significativas en el reservorio acumulado de *Nt* entre los distintos usos del suelo. En el MET se registró una reserva promedio de 19.83 Mg ha⁻¹, mientras que el Pastizal tuvo una reserva promedio de 17.81 Mg ha⁻¹, lo que representa una diferencia de 2.02 Mg ha⁻¹ entre ambos usos (Figura 3).

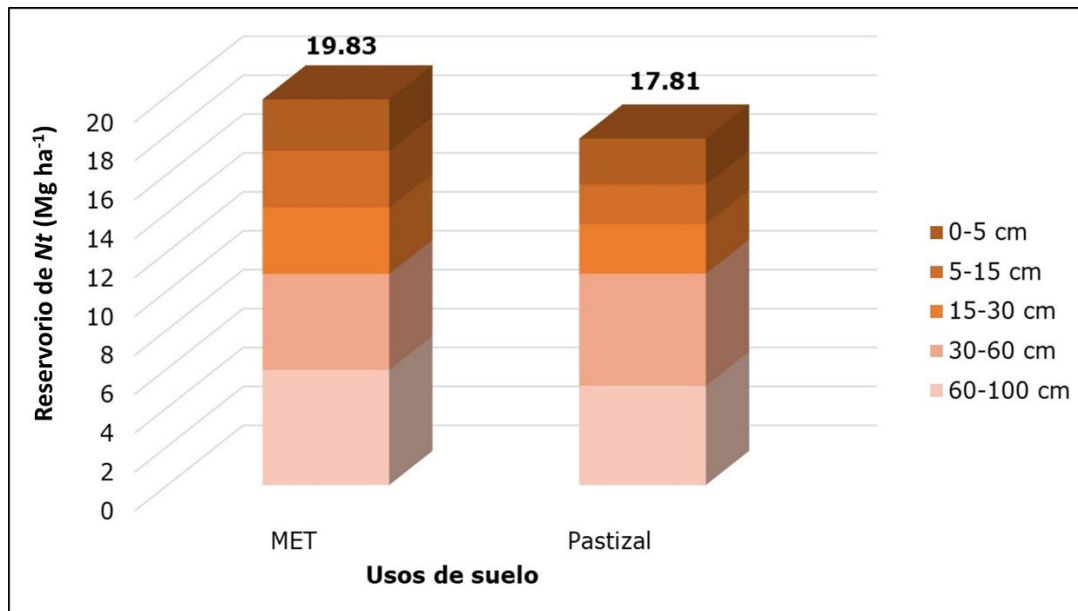


Figura 3. Reservorio de Nitrógeno acumulado en el perfil 0-100 cm en dos usos de suelo: Matorral Espinoso Tamaulipeco y Pastizal inducido de uso pecuario.

El análisis de varianza para el reservorio de *Nt* indicó que existen diferencias entre los estratos de profundidad en ambos usos de suelo. La prueba de *Tukey* reveló que los primeros tres estratos del perfil, donde se ubican las reservas más bajas de Nitrógeno, no acusan diferencias significativas entre ellos en ambos usos del suelo. Además, el reservorio de *Nt* en el MET varió entre 2.64 y 5.92 Mg ha⁻¹ en los distintos estratos de profundidad, y para el Pastizal fue de 2.03 a 5.76 Mg ha⁻¹ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Reservorios promedio de *Nt* (Mg ha⁻¹) en diferentes estratos de profundidad por uso de suelo.

Usos del suelo	Profundidad (cm)				
	0-5	5-15	15-30	30-60	60-100
MET*	2.64 ^b	2.92 ^b	3.41 ^b	4.93 ^a	5.92 ^a

Pastizal**	2.36 ^b	2.03 ^b	2.55 ^b	5.76 ^a	5.11 ^a
------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

*MET = Matorral Espinoso Tamaulipeco; **Pastizal inducido de uso pecuario.
Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (*Tukey* $p \leq 0.05$).

Relación C:N

La proporción C:N no evidenció diferencias significativas entre los usos de suelo. Los promedios de la relación C:N para el MET fue de 9.28 y para el Pastizal de 10.73. Sin embargo, se detectaron diferencias en los análisis de varianza entre los distintos estratos de profundidad para cada uso de suelo. La prueba de *Tukey* indicó que la relación C:N es igual estadísticamente en los últimos tres estratos tanto en el MET, como en el Pastizal. De acuerdo con la Figura 4, las relaciones C:N más altas y bajas se presentaron en los mismos estratos de profundidad (5-15 y 30-60 cm) en ambos usos de suelo: en el MET fue de 17.2 y 5.9, y en el Pastizal de 16.3 y 7.0, respectivamente.

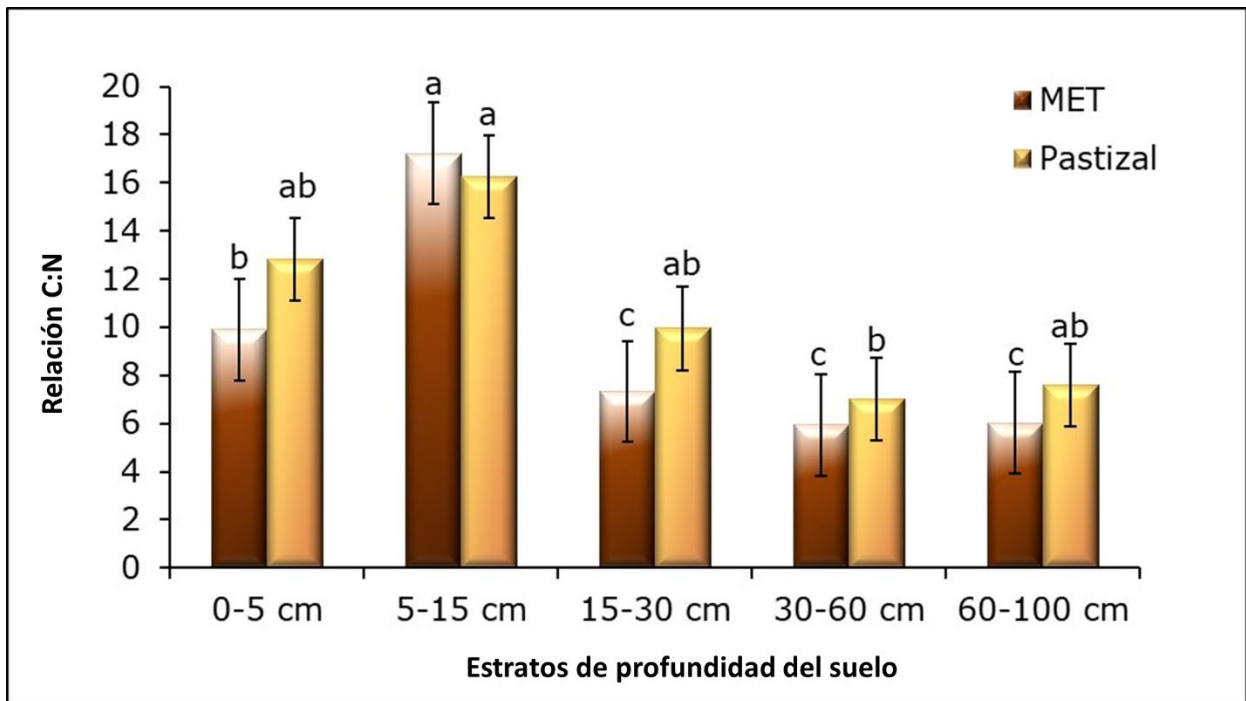


Figura 4. Valores medios de la relación C:N en diferentes estratos de profundidad, por uso de suelo (*Tukey* $p \leq 0.05$).

Discusión

Los reservorios de Carbono y Nitrógeno son afectados por el cambio de uso de suelo debido a las diferentes prácticas implementadas, así como a los cambios en los ciclos biogeoquímicos (Cocotle *et al.*, 2022). En este sentido, Franco *et al.* (2015) afirman que el cambio de uso de suelo de la vegetación nativa a pastizales conlleva una disminución de 37 % en el COS y 43 % en Nt. Sin embargo, los resultados de esta investigación indican que la reducción de estas variables fue de 23 y 26 %, respectivamente. Piñeiro (2009) señala que el pastoreo interrumpe el ciclo de

nutrientes debido al consumo de la biomasa área, lo que resulta en disminuciones de C y N en el suelo. Si bien existen diferencias entre usos de suelo, no son tan notorias; pues la acumulación de heces y orina del ganado son una fuente secundaria de depósito de C y N (Ortiz, 2021). De acuerdo con Ward *et al.* (2016), el pastoreo intensivo tiene un efecto directo sobre los contenidos de COS, y señalan que este disminuye conforme aumenta la profundidad; las mayores concentraciones se verifican en los primeros 7.5 cm, lo cual concuerda con esta investigación en la que, la mayor concentración de COS se registró en la profundidad de 0-5 cm.

Muñoz-Rojas *et al.* (2015) señalan que el cambio de uso de suelo puede generar pérdidas de COS hasta de 84 %. En particular, la conversión de Matorral a Pastizal produce una pérdida de 50 %, principalmente en los primeros 30 cm (Montaño *et al.*, 2016). Resultados con tendencia similar (31 %) se obtuvieron en el presente estudio. Sin embargo, Campo *et al.* (2016) documentan que dicha conversión puede incrementar el reservorio de COS en los pastizales en función del manejo; situación que se observó en este estudio para los dos últimos estratos, donde el Pastizal acumuló 14.4 % más Carbono que el MET. Por ello, Conant *et al.* (2001) mencionan que la inclusión de prácticas de manejo como la fertilización, tipo de pastoreo, adición de vegetación nativa, introducción de leguminosas y gramíneas, macro y microorganismos descomponedores e irrigación incrementan dicho reservorio. Lo anterior puede atribuirse a que el Matorral presenta una mayor capacidad para acumular Carbono en la capa superior del suelo, por la mayor densidad de vegetación. Sin embargo, el Pastizal tiene una mayor capacidad para almacenar Carbono debido a la estructura y constante renovación de sus raíces, que llegan a capas más profundas del suelo.

La profundidad del suelo desempeña una función muy importante en los porcentajes de *Nt*, ya que la mayor cantidad de microorganismos responsables de la fijación de Nitrógeno y descomposición de la materia orgánica tienen su máxima actividad en la capa superficial y a más profundidad, el contenido de *Nt* disminuye (Madrigal *et al.*,

2019). Como se observó en cada uso del suelo en este estudio, la profundidad 0-5 cm tuvo los porcentajes más altos de *Nt*; mientras que la de 60-100 cm, los menores porcentajes. Asimismo, la cobertura de la vegetación tiene una fuerte influencia en los porcentajes de *Nt* altos, principalmente en los primeros centímetros (Díaz *et al.*, 2021).

Dichos resultados coinciden con los observados en la presente investigación, al calcular mayor porcentaje de *Nt* en el MET y menor en el Pastizal. Estos datos sugieren que el cambio de uso del suelo de Matorral a Pastizal tuvo un efecto diferente en el contenido de nitrógeno en todo el perfil del suelo. En los estratos analizados, el porcentaje de Nitrógeno fue superior en el Matorral, a excepción del estrato 30-60 cm.

La densidad aparente tiene un efecto directo sobre los porcentajes de *COS* y *Nt*, puesto que puede limitar la penetración de raíces a zonas más profundas (de Moraes *et al.*, 2020); por ello, se reducen las fuentes de materia orgánica. Lo anterior coincide con la tendencia del porcentaje de Carbono y Nitrógeno en ambos usos de suelo en el presente estudio, en el que la densidad aparente se incrementa conforme aumenta la profundidad del suelo.

La relación C:N en el perfil de 1 m en ambos usos del suelo (MET y Pastizal) dio como resultado valores promedio de 9.3 y 10.73, respectivamente. De acuerdo con Porta *et al.* (2014), Gamarra *et al.* (2018) y Cantú y Luna (2022), relaciones de C:N entre 10 y 14 evidencian la óptima mineralización de la materia orgánica. Al respecto, los valores calculados se ubican por encima de las condiciones óptimas (10-14) para la adecuada actividad de los microorganismos del suelo. Yáñez *et al.* (2017) registraron tasas de respiración del suelo diferentes entre el MET y Pastizal en un Vertisol; la respiración del suelo es un indicador de la actividad de los microorganismos. El uso de suelo con mayor emisión de CO₂ fue el MET (6.17 μmol

CO₂ m⁻² s⁻¹), en comparación al Pastizal (4.61 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), que son los usos de suelo más comunes en el noreste de México.

En el MET se observó una mayor capacidad para almacenar el Nitrógeno, lo que puede atribuirse a la caída de hojarasca de los árboles y a la presencia de leguminosas en asociación simbiótica con microorganismos que fijan Nitrógeno al suelo, además las raíces pivotantes de los árboles atraviesan capas más profundas y contribuyen al ciclo de nutrientes (Díaz *et al.*, 2021).

Si los suelos a nivel nacional almacenan 56.1 Mg ha⁻¹ y en Nuevo León 36.9 Mg ha⁻¹ en un estrato de profundidad de 0-20 cm, la capacidad promedio del reservorio de Carbono en el Cambisol entre ambos usos de suelo (70 Mg ha⁻¹) puede ser valorada como alta (Segura-Castruita *et al.*, 2005).

En general, el Cambisol ofrece una buena capacidad de reservorio de *COS* y *Nt*, ya que si se calcula un promedio en ambos usos de suelo, se obtiene un total de 155.53 y 18.82 Mg ha⁻¹ en 1 m de profundidad, respectivamente. Con base en lo anterior, el estrato de 30-100 cm del Cambisol acumuló 39.5 % del total de *COS* en el MET y 52.2 % en el Pastizal. Asimismo, para el caso del reservorio de *Nt*, la importancia del estrato 30-100 cm es aún mayor, ya que acumuló 54.8 % en el MET y 61 % en el Pastizal, con ello se comprueba la importancia que tiene investigar todo el perfil del suelo en estudios de reservorios de Carbono y *Nt*, y no solo concentrarse en el estrato 0-30 cm, donde se cree que se encuentra la mayor parte del *COS* y *Nt*.

Conclusiones

El cambio de uso del suelo por la conversión del Matorral Espinoso Tamaulipeco a Pastizal afecta significativamente los reservorios de Carbono y Nitrógeno en el Cambisol, lo que provoca una disminución de 11.47 y 10.17 %, respectivamente.

El Cambisol presenta una buena capacidad de reservorio de *COS* y *Nt* en el perfil de 1 m de profundidad. Las reservas de *Nt* (Mg ha^{-1}) se incrementan a medida que aumenta la profundidad, y se concentran, principalmente, en los últimos dos estratos de profundidad. El estrato de 30-100 cm es igual de importante, o más, que el estrato de 0-30 cm con respecto a la capacidad de almacenar *COS* y *Nt*.

La relación C:N se mantuvo en un intervalo óptimo de mineralización entre los usos de suelo y estratos de profundidad y no se afectó por el cambio de uso del suelo. Lo antes descrito indica que el MET y el Pastizal tienen una influencia importante en la dinámica del Carbono y el Nitrógeno del Cambisol, por lo que es importante considerar esto en la planificación y el manejo sustentable del suelo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los titulares de los predios del ejido San Rafael, Linares, Nuevo León, y al Conahcyt por la beca otorgada al primer autor para la realización de dicha investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Rodolfo Alejandro Martínez Soto: trabajo de campo, laboratorio y redacción del manuscrito; Israel Cantú Silva: diseño experimental, dirección de la investigación y redacción del manuscrito; María Inés Yáñez Díaz: análisis estadístico y redacción del manuscrito; Humberto González Rodríguez: laboratorio y revisión del manuscrito; Silvia Janeth Béjar Pulido: análisis estadístico y redacción del manuscrito.

Referencias

- Batjes, N. H. 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 65(1):10-21. Doi: 10.1111/ejss.12114_2.
- Berlanga S., V. y M. J. Rubio H. 2012. Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació* 5(2):101-113. Doi: 10.1344/reire2012.5.2528.
- Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Bulk Density. In: Klute, A. (Edit.). *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI, United States of America. pp. 363-382.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. In: Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of soil analysis part 2: Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI, United States of America. pp. 595-624.
- Briones, O., A. Flores-Martínez, A. E. Castellanos, Y. Perroni y A. Hernández-Guerrero. 2020. Población, servicios ecosistémicos, ciclo del carbono y políticas públicas en las zonas secas de México. *Elementos para Políticas Públicas* 4(2):79-97 <https://www.elementospolipub.org/ojs/index.php/epp/article/view/36/34>. (1 de abril de 2023).

Burbano O., H. 2016b. El Carbono orgánico del suelo en el ámbito de la naturaleza y la sociedad. Suelos Ecuatoriales 46(1-2):89-100. http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/62. (23 de febrero de 2023).

Burbano-Orjuela, H. 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista de Ciencias Agrícolas 33(2):117-124. Doi: 10.22267/rcia.163302.58.

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. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792016000100031&script=sci_arttext. (23 de febrero de 2023).

Cantú S., I. y E. O. Luna R. 2022. Reservorio de Nitrógeno y relación C:N de un Umbrisol bajo manejo forestal en Durango, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 13(72):82-111. Doi: 10.29298/rmcf.v13i72.1055.

Cantú S., I. y M. I. Yáñez D. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(45):122-150. Doi: 10.29298/rmcf.v9i45.138.

Cocotle R., L., M. Ramírez S. y B. Hernández C. 2022. Impacto en la calidad del suelo mediada por el cambio de uso en el Cofre de Perote, México. Revista de la Alta Tecnología y Sociedad 14(1):1-8. <https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/61f477076f645a77f2d7ac45/1643411208182/T207CocotleRomero++ATS2022++1-8.pdf>. (26 de marzo de 2023).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2017. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Procedimientos de muestreo Versión 19.0. Conafor. Zapopan, Jal., México. 311 p. https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2022/DocumentosMetodologicos/2019/ANEXO_Procedimientos_de_muestreo_2019.pdf. (25 de marzo de 2023).

- Conant, R. T., K. Paustian and E. T. Elliott. 2001. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11(2):343-355. Doi: 10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2.
- de Moraes, M. T., H. Debiasi, J. C. Franchini, A. Antunes M., ... and A. Schnepf. 2020. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. *Soil and Tillage Research* 200:104611. Doi: 10.1016/j.still.2020.104611.
- Di Gerónimo, P. F., C. C. Videla y P. Laclau. 2018. Distribución de Carbono y Nitrógeno orgánico en fracciones granulométricas de suelos bajo pastizales, agricultura y forestaciones. *Ciencia del Suelo* 36(1):11-22. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672018000100002. (23 de febrero de 2023).
- Díaz L., M. I., C. C. Gamarra L., M. L. Vera de Ortiz y A. V. Santa Cruz E. 2021. Contenido de Nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles de *Prosopis* spp. del Chaco Central paraguayo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 9(2):226-240. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000200226. (24 de febrero de 2023).
- Flores T., C. E. y K. L. Flores C. 2021. Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. *Societas Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas* 23(2):83-106. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/societas/article/view/2302/2137>. (25 de marzo de 2023).
- Franco, A. L. C., M. R. Cherubin, P. S. Pavinato, C. E. P. Cerri, ... and C. C. Cerri. 2015. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes under sugarcane expansion in Brazil. *Science of the Total Environment* 515-516:30-38. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.025.
- Gabriels, D. y D. Lobo L. 2006. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos* 14(1):37-48. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/982. (23 de marzo de 2023).

- Galicia, L., A. M. Gamboa C., S. Cram, B. Chávez V., ... y C. Siebe. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana* 34:1-29. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100001. (22 de junio de 2023).
- Gamarra L., C. C., M. I. Díaz L., M. Vera de Ortíz, M. P. Galeano y A. J. N. Cabrera C. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(46):4-25. Doi: 10.29298/rmcf.v9i46.134.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, México D. F., México. 98 p. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>. (25 de marzo de 2023).
- Gómez Q., D., J. Salazar O. y A. Vargas M. 2019. Impacto del desbalance en los tamaños de muestra por tratamiento sobre el desempeño de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. *SERENGUETI Revista de Estadística* 1(2):38-45. <https://serengueti.fce.ucr.ac.cr/media/attachments/2021/12/15/revista-serengueti---vol.1---no.2---dic.-2019.pdf#page=38>. (25 de marzo de 2023).
- González-Molina, L., J. D. Etchevers-Barra y C. Hidalgo-Moreno. 2008. Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia* 42(7):741-751. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000700001. (23 de febrero de 2023).
- Hume, A. M., H. Y. H. Chen and A. R. Taylor. 2018. Intensive forest harvesting increases susceptibility of northern forest soils to carbon, nitrogen and phosphorus loss. *Journal of Applied Ecology* 55(1):246-255. Doi: 10.1111/1365-2664.12942.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Guía para la interpretación de la cartografía: Edafología: Escala 1:250 000 Serie III. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 60 p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvini/inegi/productos/nueva_estruc/702825076221.pdf. (25 de marzo de 2023).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. INEGI. Benito Juárez, México D. F., México. 171 p.

International Business Machines (IBM). 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY, United States of America. IBM Corp. <https://www.ibm.com/support/pages/spss-statistics-220-available-download>. (20 de marzo de 2023).

International Union of Soil Sciences (IUSS). 2015. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, RM, Italy. 203 p.

Jurado-Guerra, P., M. Velázquez-Martínez, R. A. Sánchez-Gutiérrez, A. Álvarez-Holguín, ... y M. G. Chávez-Ruíz. 2021. Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 12(3):261-285. Doi: 10.22319/rmcp.v12s3.5875.

Lefèvre, C., F. Rekik, V. Alcantara y L. Wiese. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). Roma, RM, Italia. 77 p. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29070/CarbonoOrganicodelSuelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (28 de marzo de 2023).

Luna R., E. O., I. Cantú-Silva and S. J. Bejar P. 2023. Soil Organic carbon changes in an umbrisol under different silvicultural treatments in a temperate forest in

northwestern Mexico. *Journal of Sustainable Forestry* 42(4):1-16 Doi: 10.1080/10549811.2022.2043904.

Madrigal R., S., D. C. Acevedo, E. Hernández A. y J. L. Romo L. 2019. Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el Carbono y Nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(51):201-223. Doi: 10.29298/rmcf.v10i51.113.

Montaño, N. M., F. Ayala, S. H. Bullock, O. Briones, ... y E. Yépez. 2016. Almacenes y flujos de Carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana* 34(1):39-59. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57344471003.pdf>. (23 de febrero de 2023).

Muñoz-Rojas, M., A. Jordán, L. M. Zavala, D. De la Rosa., S. K. Abd-Elmabod and M. Anaya-Romero. 2015. Impact of land use and land cover changes on organic carbon stocks in Mediterranean soils (1956-2007). *Land Degradation and Development* 26(2):168-179. Doi: 10.1002/ldr.2194.

Ortiz C., A. I. 2021. Transformación de carbono y nitrógeno en suelos con pastoreo bufalino y vacuno en la zona sur del estado de Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias en Ecología y Biotecnología. Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 57 p. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50849/OrtizCarmonaAmerica.pdf?sequence=1>. (26 de marzo de 2023).

Pardos, J. A. 2010. Los ecosistemas forestales y el secuestro de Carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid, MD, España. 253 p.

Patiño-Flores, A. M., E. Alanís-Rodríguez, V. M. Molina-Guerra, E. Jurado, ... y A. Collantes-Chávez-Costa. 2022. Regeneración natural en un área restaurada del matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(1):e2853. Doi: 10.19136/era.a9n1.2853.

- Piñeiro, G. 2009. Efectos de la ganadería sobre la materia orgánica del suelo en los pastizales del Río de la Plata. In: Morón, A. (Coord.). Efectos de la Agricultura, la Lechería y la Ganadería en el Recurso Natural Suelo: Impactos y Propuestas. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Estanzuela. Montevideo, MO, Uruguay. pp. 55-59. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/112761270809100748.pdf#page=59>. (26 de marzo de 2023).
- Porta, J., M. López-Acevedo y R. M. Poch. 2014. Edafología: uso y protección de suelos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, MD, España. 608 p. <https://books.google.com.ec/books?id=7x1fAAwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>. (25 de marzo de 2023).
- Ramos-Hernández, E. y J. L. Martínez-Sánchez. 2020. Almacenes de biomasa y carbono aéreo y radicular en pastizales de *Urochloa decumbens* y *Paspalum notatum* (Poaceae) en el sureste de México. *Revista de Biología Tropical* 68(2):440-451. Doi: [htt10.15517/rbt.v68i2.37395](https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.37395).
- Sánchez T., R. A. 2015. Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney: mitos y realidades. *Revista Mexicana de Endocrinología, Metabolismo y Nutrición* 2:18-21. https://www.revistadeendocrinologia.com/files/endocrinologia_2015_2_1_018-021.pdf. (25 de marzo de 2023).
- Sánchez-López, D., S. R. León-Hernández y C. Barragán-Velázquez. 2015. Correlación de inteligencia emocional con bienestar psicológico y rendimiento académico en alumnos de licenciatura. *Investigación en Educación Médica* 4(15):126-132. <https://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v4n15/2007-5057-iem-4-15-00126.pdf>. (22 de junio de 2023).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección*. pp. 1-73.

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>. (23 de febrero de 2023).

Segura-Castruita, M. A., P. Sánchez-Guzmán, C. A. Ortiz-Solorio y M. C. Gutiérrez-Castorena. 2005. Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana* 23(1):21-28. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57323103.pdf>. (26 de marzo de 2023).

Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. McGraw-Hill Book Company. New York, NY, United States of America. 633 p.

Wagner-Riddle, C., A. Furon, N. L. Mclaughlin, I. Lee, ... and J. Warland. 2007. Intensive measurement of nitrous oxide emissions from a corn soybean-wheat rotation under two contrasting management systems over 5 years. *Global Change Biology* 13(8):1722-1736. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01388.x.

Ward, S. E., S. M. Smart, H. Quirk, J. R. B. Tallowin, ... and R. D. Bardgett. 2016. Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. *Global Change Biology* 22(8):2929-2938. Doi: 10.1111/gcb.13246.

Yáñez 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. Doi: 10.29298/rmcf.v8i42.22.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.