



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO EN LUVISOL BAJO DIFERENTES USOS DE SUELO EN OAXACA, MÉXICO

ORGANIC CARBON AND NITROGEN STOCKS IN LUVISOL UNDER DIFFERENT LAND USES IN OAXACA, MEXICO

Sandoval García, C., I. Cantú Silva

RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO EN LUVISOL BAJO
DIFERENTES USOS DE SUELO EN OAXACA, MÉXICO

ORGANIC CARBON AND NITROGEN STOCKS IN LUVISOL UNDER DIFFERENT
LAND USES IN OAXACA, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 163-176 México. Julio 2025

DOI: 10.18387/polibotanica.60.10



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0
Atribución-No Comercial ([CC BY-NC 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Reservas de carbono orgánico y nitrógeno en Luvisol bajo diferentes usos de suelo en Oaxaca, México

Organic carbon and nitrogen stocks in Luvisol under different land uses in Oaxaca, Mexico

Sandoval García, C.,
I. Cantú Silva

RESERVAS DE CARBONO
ORGÁNICO Y NITRÓGENO
EN LUVISOL BAJO
DIFERENTES USOS DE
SUELO EN OAXACA,
MÉXICO

ORGANIC CARBON AND
NITROGEN STOCKS IN
LUVISOL UNDER
DIFFERENT LAND USES IN
OAXACA, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 163-176. Julio 2025

DOI:
10.18387/polibotanica.60.10

Celestino Sandoval García / celestinosandoval@gmail.com 

Universidad del Mar, campus Puerto Escondido. Carretera a Oaxaca
Vía Sola de Vega, km 1.5. Colonia Sector Universidad. C.P. 71980
Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, México

Israel Cantú Silva

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales
Carretera Nacional 85, Km. 145, Linares, Nuevo León México. C.P. 67700

RESUMEN: Para la fertilidad de un suelo se requiere de información sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Debido a la escasa información al respecto para la Sierra Sur de Oaxaca se realizó la investigación con el objetivo de determinar el contenido y reserva de carbono orgánico y nitrógeno en un Luvisol, bajo diferentes usos del suelo: pastizal, agrícola, plantación de pino, bosque de pino (control) y agropecuario, en la microcuenca Río La Venta, Copalita, Oaxaca, México. Se colectaron cuatro muestras compuestas por cada uso de suelo, a profundidades de 0-10 y 10-30 cm, respectivamente. Para determinar el contenido de materia orgánica del suelo (MOS), carbono orgánico del suelo (COS, % y Mg ha^{-1}) se utilizó el método de Walkley/Black y para evaluar el nitrógeno total (Nt) fue mediante el método de Kjeldahl y se estimó la relación C:N. Se analizó el contenido de materia orgánica del suelo (MOS), carbono orgánico del suelo (COS, % y Mg ha^{-1}) y nitrógeno total (Nt, % y Mg ha^{-1}) y se estimó la relación C:N. Los resultados del contenido y reserva de COS y Nt para la profundidad de 0 a 10 cm fueron de 5.33-0.35% y 55.11-3.69 Mg ha^{-1} (agrícola), 6.39-0.44% y 50.59-3.50 Mg ha^{-1} (plantación de pino), 6.69-0.44% y 66.01-4.36 Mg ha^{-1} (agropecuario), 8.37-0.50% y 64.98-3.82 Mg ha^{-1} (pastizal), 9.11-0.54% y 56.91-3.39 Mg ha^{-1} (bosque de pino), respectivamente. Para la profundidad de 10-30 cm se observó que los valores disminuyeron. Los valores de relación C:N variaron de 14.21 a 17.1 en ambas profundidades. Los resultados mostraron una disminución en el COS y Nt del suelo, con respecto al uso original que es bosque de pino, por lo que es importante mantener la cobertura forestal, mediante prácticas de manejo como la silvicultura comunitaria, lo cual permitirá la conservación de los bosques y la disposición de materia orgánica en el suelo. **Palabras clave:** Agropecuario, bosque de pino, Carbono orgánico del suelo, materia orgánica, Pastizal, Subcuenca Copalita, uso agrícola.

ABSTRACT: To the fertility of soil, information on its physical, chemical, and biological properties is required. However, the scarce information in this regard for the Sierra Sur de Oaxaca, the following research was carried out to evaluate the content and reserve of organic carbon and nitrogen in a Luvisol, in different land uses: pasture, agricultural, pine plantation, pine forest (control) and agricultural-livestock, in the Río La Venta micro-watershed, Copalita, Oaxaca, Mexico. Four composite samples were collected for each land use, at depths 0-10 and 10-30 cm respectively. To determine the soil organic matter (SOM), soil organic carbon (SOC, % and Mg ha^{-1}) content, the Walkley/Black method was used, and to evaluate total nitrogen (TN), the Kjeldahl method was used, and the C:N ratio was estimated. The soil organic matter (SOM) content, soil organic carbon (SOC, % y Mg ha^{-1}) and total nitrogen (Nt, % and Mg ha^{-1}) were analyzed and the C:N ratio was estimated. The results of the content and reserve of SOC and Nt for the depth from

0 to 10 cm were 5.33-0.35% and 55.11-3.69 Mg ha⁻¹ (agricultural), 6.39-0.44% and 50.59-3.50 Mg ha⁻¹ (plantation of pine), 6.69-0.44% and 66.01-4.36 Mg ha⁻¹ (agricultural-livestock), 8.37-0.50% and 64.98-3.82 Mg ha⁻¹ (grassland), 9.11-0.54% and 56.91-3.39 Mg ha⁻¹ (forest pine), respectively. For the depth of 10-30 cm the values decreased. The average C:N ratio values varied from 14.21 to 17.1 at both depths. The results showed a decrease in soil SOC and Nt compared to the original pine forest use. Therefore, it is important to maintain forest cover through management practices such as community forestry, which will allow for forest conservation and the disposition of organic matter into the soil.

Key words: Agricultural-livestock, pine forest, Soil organic carbon, organic matter, Grassland, Copalita Sub-basin, agricultural.

INTRODUCCIÓN

El suelo es el recurso del cual depende la humanidad, por los diferentes beneficios que aportan, no obstante, ha sufrido un deterioro en los últimos años debido al crecimiento de la población, misma que demanda una mayor cantidad de bienes y servicios, lo cual está propiciando los cambios de uso del suelo para la agricultura, ganadería y asentamientos humanos (FAO, 2015; Leija-Loredo *et al.*, 2016; Nene Preciado *et al.*, 2017).

El carbono orgánico del suelo (COS) y el nitrógeno total (Nt) son elementos importantes para el desarrollo de los diferentes tipos de vegetación. La calidad del suelo está relacionada con la cantidad de estos elementos que son secuestrados (FAO, 2017), además los diferentes usos del suelo juegan un papel primordial en la distribución y cantidad de dichos elementos (Burbano Orjuela, 2018; Xue & An, 2018). Asimismo, gran parte de la vegetación regula su crecimiento a través de la fijación del carbono (C) y el nitrógeno (N) por medio de la fotosíntesis (Lv *et al.*, 2021). Las reservas más importantes de carbono se encuentran en el suelo, contiene más que la vegetación terrestre y el carbono orgánico en conjunto; sin embargo, es uno de los recursos más vulnerables ante el cambio climático, el cambio de uso de suelo, la erosión y la degradación (FAO, 2017). Se ha estimado que la reserva de carbono en el suelo es de alrededor de 2 300 PgC en los primeros tres metros de profundidad (FAO, 2017). No obstante, las diferentes actividades antropogénicas, han provocado una pérdida de esta reserva, ya que se estima que, en las primeras décadas de cultivarse el suelo, principalmente por la agricultura, se libera a la atmósfera más del 50 % de carbono (Amundson *et al.*, 2015).

Por otra parte, un análisis sobre la dinámica del carbono orgánico en el suelo reveló que esta depende de varios factores, entre ellos el clima, el origen del suelo, el manejo actual e histórico del sistema de producción y las características específicas de cada ecosistema. Además, es común que los estudios se enfoquen en la sustitución de la vegetación, sin considerar el impacto acumulativo a largo plazo. Esto subraya la necesidad de investigaciones más integrales que evalúen los efectos del manejo del suelo y los cambios en la vegetación sobre la dinámica del carbono (Galicia *et al.*, 2016).

Un estudio realizado en el sureste de México, sobre el almacenamiento de carbono reveló un importante potencial tanto en la vegetación como en los suelos de los bosques templados en el secuestro de carbono de la atmósfera, donde encontraron valores estimados entre 200 y 327 Mg ha⁻¹, lo que subraya la capacidad de estos ecosistemas para retener carbono de manera significativa (Leyva-Pablo *et al.*, 2021). Estos hallazgos indican la importancia crucial del manejo sostenible del suelo y vegetación, ya que el uso adecuado de estos recursos es fundamental para maximizar su capacidad de almacenamiento de carbono y mitigar los efectos del cambio climático (Monreal *et al.*, 2005).

En México, los Luvisoles cubren una superficie de 17.7 millones de hectáreas, principalmente en los estados de Guerrero, Oaxaca, Campeche, Península de Yucatán, así como la Sierra Madre Occidental, siendo uno de los suelos más fértiles, usado principalmente para la actividad agrícola (INEGI, 2013; IUSS, 2015).

En el estado de Oaxaca se ha practicado el cambio de uso del suelo de forestal a agrícola, incorporando áreas que originalmente fueron bosques en laderas con elevadas pendientes (20-60%) para el cultivo de maíz, siendo una agricultura de subsistencia a pequeña escala debido a

las condiciones socioeconómicas y a la tenencia de la tierra, en el cual aproximadamente el 80% del uso agrícola se realiza en laderas (Vergara-Sánchez *et al.*, 2005).

En la Sierra Sur del estado de Oaxaca, se ha dado el cambio de uso de suelo de forestal a agrícola y pastizal, y posteriormente a otros usos, en laderas, y se desconoce el efecto de dicho cambio en las propiedades químicas del suelo. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno en un Luvisol, bajo diferentes usos del suelo: pastizal, agrícola, plantación de pino, bosque de pino (control) y agropecuario, en la microcuenca Río La Venta, Copalita, Oaxaca, México.

MÉTODOS

Área de estudio

Se encuentra en la parte alta de la microcuenca Río La Venta, Copalita, Oaxaca, México, en las coordenadas UTM Zona 14: 776000 E y 1792800 N (Figura 1). Presenta un clima templado húmedo (Cw) (García, 2004), con lluvias en verano, precipitación media anual mayor de 1 300 mm, con una máxima durante el mes de julio de 215 mm y mínima en febrero menor a 10 mm. La temperatura media anual de 18 a 20 °C, máxima en abril y mayo de 24 °C y mínima de enero y diciembre de 0 a 5 °C. Además, presenta un suelo de tipo Luvisol (INEGI, 2013; IUSS, 2015).

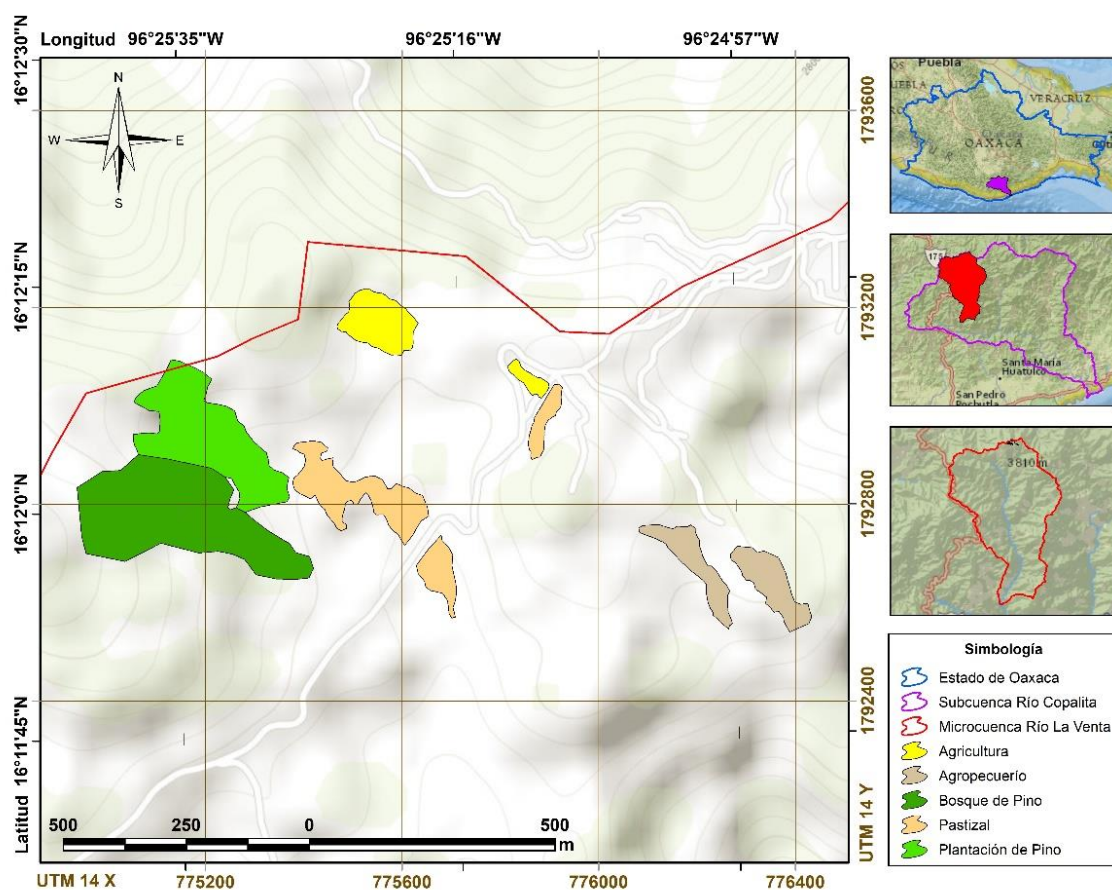


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.

Usos de suelo evaluados

La evaluación se realizó en cinco áreas con diferentes usos que se extienden sobre la superficie del Luvisol, las cuales se describen a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción y superficie de los usos del suelo.

Table 1. Description and area of land uses.

Uso de suelo	Superficie (ha)	Descripción
pastizal	8.22	Se encuentran diferentes especies nativas de pasto como son: <i>Bouteloua repens</i> (Kunth) Scribn. & Merr., <i>Muhlenbergia robusta</i> (E. Fourn.) A. Hitchc., <i>Panicum bulbosum</i> Kunth., <i>P. mertensii</i> Roth., <i>P. parviglume</i> Hack., <i>Paspalum convexum</i> Humb. & Bonpl. ex Flüggé (Pacheco Rivera & Dávila Aranda, 2004).
agrícola	4.15	Este uso se asocia la siembra de maíz con papa y haba.
agropecuario	5.60	Este uso está destinado al pastoreo de ganado bovino, caprino y ovino en áreas agrícolas en descanso (de uno a dos años).
plantación de pino	10.64	En este uso eran áreas agrícolas, mismas que posteriormente se convirtieron en plantaciones, estableciéndose las especies <i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltl., <i>P. douglasiana</i> Martínez y <i>Abies religiosa</i> (Kunth Schltl. et Cham.)
bosque de pino (control)	16.56	Está compuesta principalmente por <i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltl., <i>P. douglasiana</i> Martínez, <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock ex Martínez, <i>P. leiophylla</i> Schl. & Cham y <i>Abies religiosa</i> (Kunth Schltl. et Cham.) (CONAFOR, 2016).

Muestreo y análisis de suelo

Con base en las características del suelo Luvisol, cuyo nombre proviene del latín *Luere* que significa lavar. Son suelos rojos, grises o pardos que se forman a partir de una gran variedad de materiales no consolidados y que son susceptibles a la erosión cuando se encuentran en pendientes pronunciadas, además, son fértiles para la agricultura. Son comunes en clima templado húmedos, y fríos o cálidos húmedos con una marcada temporada de Lluvia y sequía, y se distribuye en la Sierra Madre Occidental, Guerrero, Oaxaca, Campeche y la Península de Yucatán (INEGI, 2013; IUSS, 2015). La topografía del área presenta una pendiente de 25% a 45%, y en cada uso del suelo se recolectaron cuatro muestras compuestas de suelo (de cuatro submuestras) a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm), dando un total de 40 muestras colectadas (Cantú Silva & Yañez Díaz, 2018), mismas que fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Estas muestras se secaron a temperatura ambiente y se cribaron con mallas metálicas de 2 mm. Posteriormente se realizaron los diferentes análisis.

Determinación de Carbono y Nitrógeno en el Suelo

En la Tabla 2 se muestran las propiedades químicas evaluadas, el método de determinación y la unidad de medición utilizada.

Tabla 2. Métodos de evaluación de las propiedades químicas del suelo tipo Luvisol.**Table 2.** Methods for evaluating the chemical properties of Luvisol-type soil.

Propiedad	Unidad	Método
MOS	%	Se realizó a través del método de <i>Walkley/Black</i> modificado
COS	%	(Woerner, 1989). Se aplicó el método de <i>Walkley/Black</i> modificado (Woerner, 1989). El contenido de carbono orgánico se obtuvo considerando que MOS tuviera el 58% de carbono (Castellanos <i>et al.</i> , 2000).
Nt	%	Se evaluó a través del método <i>Kjeldahl</i> , y el análisis se realizó con base en lo propuesto por (Bremner & Mulvaney 1982).
C:N		Se estimó a partir de los datos obtenidos de COS y Nt.
DA	g cm ⁻³	Método gravimétrico (Cantú Silva & Luna Robles, 2022).

MOS = Materia orgánica del suelo; COS = Carbono orgánico del suelo; Nt = Nitrógeno total. Las variables evaluadas fueron a la profundidad de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm.

SOM = Soil organic matter; SOC = Soil organic carbon; Tn = Total nitrogen. The variables evaluated were at depths of 0 to 10 cm and 10 to 30 cm.

Reservas de Carbono Orgánico del Suelo y Nitrógeno

Para determinar la reserva de COS (Mg ha⁻¹) y Nt (Mg ha⁻¹) se utilizó el porcentaje de ambos, la densidad aparente y la profundidad del suelo, con base en las siguientes ecuaciones (Madrigal Reyes *et al.*, 2019):

$$\text{COS (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{COS\%} \times \text{DA} \times \text{Ps}$$

Donde:

COS = Carbono orgánico del suelo (Mg ha⁻¹),

COS = Contenido de carbono orgánico del suelo (%),

DA = Densidad aparente (g cm⁻³), y

Ps = Profundidad del suelo (cm)

$$\text{Nt (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{Nt \%} \times \text{DA} \times \text{Ps}$$

Donde:

Nt = Nitrógeno total del suelo (Mg ha⁻¹),

Nt = Nitrógeno total del suelo (%),

DA = Densidad aparente (g cm⁻³), y

Ps = Profundidad del suelo (cm)

Análisis estadístico

Las variables evaluadas se analizaron en un diseño experimental completamente al azar, para evaluar el efecto del cambio de uso del suelo y cambios por profundidad. Se aplicaron pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y homocedasticidad de Levene. Las variables que no cumplieron con ambos supuestos se aplicaron una prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$) y Post Hoc de corrección de Bonferroni ($p \leq 0.05$). Para la relación C:N se realizó un análisis de varianza y su respectiva prueba de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa SPSS® (Statistical Package for the Social Sciences) versión 22 (IMB, 2013).

RESULTADOS

El contenido de MOS, COS, Nt, relación C:N y DA, así como las reservas de COS y Nt para las profundidades de 0-10 y 10-30 cm en los cinco usos de suelo, se muestran en la Tabla 3, donde la profundidad de 0-10 cm, presentó los valores más altos para las variables evaluadas, comparado con la profundidad de 10-30 cm.

Tabla 3. Valores medios de MOS, COS, Nt, relación C:N y DA para la profundidad de 0-10 cm y 10-30 cm, en los usos de suelo evaluadas.

Table 3. Average values of SOM, SOC, Nt, C:N ratio and DA for the depth of 0-10 cm and 10-30 cm, in the evaluated land uses.

Variables	Uso de suelo/Profundidad									
	pastizal		agrícola		agropecuario		plantación de pino		bosque de pino	
	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30
MOS (%)	14.42	10.90	9.05	7.30	11.47	10.58	10.95	8.56	15.70	9.19
COS (%)	8.37	6.40	5.33	4.31	6.69	6.29	6.39	4.97	9.11	5.32
Nt (%)	0.50	0.39	0.35	0.25	0.44	0.43	0.44	0.33	0.54	0.33
C:N	17.01	16.52	15.12	16.48	15.05	14.21	14.70	14.63	16.76	15.65
DA g cm ⁻³	0.78	0.92	1.03	1.15	0.98	1.10	0.79	0.86	0.63	0.75

MOS = Materia orgánica del suelo (%); COS = Carbono orgánico del suelo (%); Nt = Nitrógeno total (%); C:N = Relación Carbono-Nitrógeno; DA= Densidad aparente (g cm⁻³).

SOM = Soil organic matter (%); SOC = Soil organic carbon (%); Tn = Total nitrogen (%); C:N = Carbon-nitrogen ratio; AD = Apparent density (g cm⁻³).

Los valores más altos de MOS, COS y Nt los presentó el bosque de pino, para la profundidad de 0-10 cm, con valores promedios de 15.70, 9.11 y 0.54%, respectivamente; el uso agrícola, presentó los valores más bajos para MOS, COS y Nt, con valores promedio de 9.05, 5.33 y 0.35%, respectivamente. Para la relación C:N, los valores promedio variaron de 17.01 (pastizal) a 14.70 (plantación de pino) (Cuadro 3).

Para la profundidad de 10-30 cm, los valores más altos de MOS, COS y Nt, los presentó el pastizal, con valores promedios de 10.90, 6.40 y 0.39%, respectivamente. Contrastando con los resultados obtenidos para el uso agrícola, que presentó los valores más bajos para MOS, COS y Nt, con valores promedios de 7.30, 4.31 y 0.26%, respectivamente. Para la relación de C:N, los valores promedio variaron de 16.52 (pastizal) a 14.21 (agropecuario) (Tabla 3).

Con base en los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la variable MOS y COS para la profundidad de 0-10 cm (Tabla 4). Sin embargo, para la profundidad de 10-30 cm, ninguna de las variables mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de H. de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los usos de suelo para las variables MOS, COS y Nt a la profundidad de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm.

Table 4. Kruskal-Wallis H. test to detect significant differences between land uses for the variables MOS, SOC and Nt at depths of 0 to 10 cm and 10 to 30 cm.

Estadístico	MOS	COS	Nt (%)	COS	Nt	MOS	COS	Nt
	(%)	(%)		Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	(%)	(%)	(%)
			Profundidad 0-10 cm			Profundidad 10-30 cm		
N	20	20	20	20	20	20	20	20
Media	12.32	7.17	0.45	58.72	3.75	9.30	5.45	0.35
Mediana	11.75	6.88	0.45	57.85	3.84	9.67	5.65	0.35
χ^2	15.088	15.016	10.357	4.857	5.514	6.871	7.016	8.275
Sig. Asintótica	0.005*	0.005*	0.035	0.302	0.276	0.143	0.135	0.082

MOS = Materia orgánica del suelo; COS = Carbono orgánico del suelo; Nt = Nitrógeno total; Sig. = Significancia, *= Diferencia significativa.

SOM = Soil organic matter; SOC = Soil organic carbon; Tn = Total nitrogen; Sig. = Significance, * = Significant difference.

Así mismo, se realizaron las pruebas de Post Hoc de Kruskal-Wallis para muestras independientes con comparaciones por pares con corrección de Bonferroni para usos del suelo, en las cuales las variables MOS y COS mostraron diferencias significativas en la combinación agrícola-pastizal y agrícola-bosque, y las variables MOS, COS y Nt en la combinación agrícola-bosque para la profundidad de 0-10 cm (Tabla 5). Para la profundidad de 10-30 cm, ninguna de las variables evaluadas mostró diferencias significativas de acuerdo con esta prueba.

Tabla 5. Prueba de Post Hoc de Kruskal-Wallis con corrección de Bonferroni, para detectar diferencias significativas para la variable MOS, COS y Nt a la profundidad de 0-10 cm.

Table 5. Kruskal-Wallis Post Hoc test with Bonferroni correction, to detect significant differences for the variables MOS, SOC and Nt at a depth of 0-10 cm.

Comparaciones por pares de uso del suelo	Variable		
	MOS	COS	Nt
	Sig. Ajustada	Sig. Ajustada	Sig. Ajustada
agrícola-plantación de pino	1.000	1.000	1.000
agrícola-agropecuario	1.000	1.000	0.879
agrícola-pastizal	0.025	0.025	0.180
agrícola-bosque de pino	0.007*	0.007*	0.023*
plantación de pino-agropecuario	1.000	1.000	1.000
plantación de pino-pastizal	0.776	0.882	1.000
plantación de pino-bosque	0.337	0.390	1.000
agropecuario-pastizal	1.000	1.000	1.000
agropecuario-bosque de pino	0.776	0.068	1.000
pastizal- bosque de pino	1.000	1.000	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de comparación por pares de uso del suelo son iguales. MOS = Materia orgánica del suelo; COS = Carbono orgánico del suelo; Nt = Nitrógeno total; Sig. = Significancia; *= Diferencia significativa.

Each row tests the null hypothesis that the pairwise land-use comparison distributions are equal. SOM = Soil organic matter; SOC = Soil organic carbon; Tn = Total nitrogen; Sig. = Significance; * = Significant difference.

Relación C:N

La relación C:N no evidenció diferencias significativas entre los usos de suelo (Tabla 6). Los valores promedios de la relación C:N para plantación de pino fue de 14.50, agropecuario 15.05, agrícola 15.12, bosque de pino 16.76 y pastizal 17.01, para la profundidad de 0-10 cm. Con relación a la profundidad de 10-30 cm, los valores fueron para agropecuario 14.21, plantación de pino 14.63, bosque de pino 15.65, agrícola 15.12 y pastizal 16.52.

Tabla 6. Análisis de varianza con los factores uso de suelo (FA) y profundidad (FB) y su interacción (FA×FB).

Table 6. Analysis of variance with the factors land use (FA) and depth (FB) and their interaction (FA×FB).

Variable	FA ^(a)	FB ^(b)	(FA)×(FB)	R ² ajustada
	F (4,39)	F (1,39)	F (4,39)	
C:N ^(c)	1.952 (0.128)	0.143 (0.708)	0.513 (0.727)	0.25

FA^(a) = Uso de suelo; FB^(b) = Profundidad; ^(c) = Entre paréntesis se proporciona el valor de *p*; C:N = Relación carbono.
FA(a) = Land use; FB^(b) = Depth; ^(c) = The value of *p* is given in parentheses; C:N = Carbon ratio

La prueba de Tukey indicó que la relación C:N es estadísticamente igual en las dos profundidades en los usos de suelo evaluados. Sin embargo, la relación C:N fue mayor a la profundidad de 0-10 cm debido a la actividad microbiana que existen en los diferentes usos de suelo evaluado excepto para el uso agrícola, que fue mayor para la profundidad de 10-30 debido a la remoción del suelo cuando se realiza la siembra, así como a la incorporación de residuos y estiércol de ganado. El pastizal y bosque de pino son casi iguales debido que existen una existe rápida descomposición de las raíces y de la desintegración y descomposición de la materia orgánica, lo cual indica que existe más carbono disponible para los microorganismos.

Reservorio de COS (Mg ha⁻¹) en el suelo

Con base en el análisis de varianza y de la prueba de Levene, la reserva de carbono y nitrógeno total no evidencia diferencias significativas entre los usos de suelo (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza y prueba de Levene de la reserva de carbono orgánico y nitrógeno total.

Table 7. Analysis of variance and Levene's test of the organic carbon and total nitrogen stock.

Variable	gl	Media cuadrática	Valor F	Valor P	Prueba de Levene	Valor P
Reserva de carbono orgánico	4	0.043	0.333	0.860	0.84	0.509
Reserva de nitrógeno total	4	0.052	0.394	0.808	1.149	0.350

gl = grados de libertad.

gl = degrees of freedom.

El carbono orgánico almacenado en los primeros 10 cm de suelo para los usos evaluados fue: plantación de pino 50.59 Mg ha⁻¹, agrícola 55.11 Mg ha⁻¹, bosque de pino 56.91 Mg ha⁻¹, pastizal 64.98 Mg ha⁻¹ y agropecuario 66.01 Mg ha⁻¹. El bajo almacenamiento en la plantación de pino se debe probablemente a que antes fue un área agrícola, además del aprovechamiento del carbono en el desarrollo del arbolado, mientras que el uso de suelo que presentó el mayor reservorio fue el agropecuario, esto debido que al no remover el suelo de manera continua permite que el carbono se mantenga, reduciendo su liberación y pérdida.

El carbono orgánico total almacenado en la profundidad de 0-30 cm del suelo para los usos evaluados fue: bosque de pino 148.19 Mg ha⁻¹, agrícola 154.09 Mg ha⁻¹, plantación de pino 159.99 Mg ha⁻¹, agropecuario 160.21 Mg ha⁻¹ y pastizal 180.68 Mg ha⁻¹. La plantación de pino presentó el reservorio más bajo de carbono, ya que el área donde se estableció fue de uso agrícola,

mientras que el uso que mostró el mayor almacenamiento fue el pastizal, debido probablemente a la gran cantidad de raíces que genera y que se incorpora al suelo.

Reservorio de Nt (Mg ha^{-1}) en el suelo

La reserva de Nitrógeno total en los diferentes usos del suelo mostró una ligera diferencia, aunque estadísticamente no fue significativa. Los valores medio de la reserva de Nt, para la profundidad 0-10 cm fueron: bosque de pino 3.39 Mg ha^{-1} , plantación de pino 3.50 Mg ha^{-1} , agrícola 3.69 Mg ha^{-1} , pastizal 3.82 Mg ha^{-1} y agropecuario 4.36 Mg ha^{-1} .

Para la profundidad de 10-30 cm, el almacenamiento de nitrógeno fue: bosque de pino 5.87 Mg ha^{-1} , agrícola 5.95 Mg ha^{-1} , agropecuario 6.72 Mg ha^{-1} , pastizal 7.15 Mg ha^{-1} y plantación de pino 7.45 Mg ha^{-1} . Estos resultados indican que el suelo tipo Luvisol es un reservorio importante de Nitrógeno total, además que el uso original del área de estudio ha sido bosque de pino (control) y que se toma como referencia para la evaluación en la reserva del Nitrógeno total respecto a los cambios del uso del suelo.

DISCUSIÓN

El cambio de uso de suelo afecta el contenido de carbono y nitrógeno, principalmente cuando se pasa de vegetación nativa a pastizal, tal como lo señalan (Martínez Soto *et al.*, 2023), quienes encontraron una reducción en COS y Nt de 23 y 26%, respectivamente. Sin embargo, para el presente estudio presentó una reducción en COS de 23% y para Nt de 22% en promedio para la profundidad de 0 a 30 cm.

En este estudio, la relación C:N fluctuó de 14.21 a 16.52%, lo que puede permitir la proliferación de microorganismos descomponedores de la materia orgánica, ya que cuentan con suficiente carbono para ser usado como fuente de energía y nitrógeno para sintetizar sus proteínas, lo que facilita la mineralización del carbono para ser aprovechado por los vegetales en los diferentes usos del suelo evaluado (Cantú Silva & Bejar Pulido, 2024).

De acuerdo con Cantú Silva & Luna Robles (2022), señalan que relaciones de C:N entre 10 y 14 evidencian una buena calidad de MOS y que potencialmente existe un adecuado funcionamiento de los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica. Al respecto, los valores calculados en el presente estudio se encuentran por arriba de la buena calidad de mineralización. De acuerdo con los resultados obtenidos de las variables evaluadas en los diferentes usos del suelo, se observó que existe efecto por el cambio de uso de suelo para el contenido de MOS, COS y Nt para la profundidad de 0 a 10 cm. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Medina-Méndez *et al* (2019), quienes cuantificaron el contenido de materia orgánica en un suelo de tipo Luvisol en el estado de Campeche en un sistema de cultivo continuo de maíz comparado con un sistema de vegetación natural, encontrando una disminución de la materia orgánica de 5.28 a 3.59% después de 16 a 30 años de cultivo. Por otra parte, Cantú Silva & Yañez Díaz (2018), encontraron en un Vertisol que el contenido de COS y Nt fue menor en el uso agrícola; sin embargo, en matorral fue mayor para la profundidad de 0-10 cm, estos resultados fueron menores a los obtenidos en el presente estudio.

Los altos valores de COS y Nt en el bosque de pino, coinciden con lo reportado por Madrigal Reyes *et al.* (2019) quienes evaluaron estas variables encontrando valores más altos para la profundidad de 0-10 cm para bosque de pino, bosque de pino-*Alnus* y bosque de oyamel, en el cual mencionan que existe una influencia de la pendiente, la cobertura y profundidad del suelo. Vela Correa *et al* (2012), encontraron en suelos de conservación de la ciudad de México, mayor contenido de COS en suelos reforestados con *Abies religiosa* (Kunth Schltdl. *et* Cham.), *Pinus* spp. y *Pinus-Cupressus*, sin embargo, los suelos agrícolas contenían la mitad del COS que los suelos forestales.

En el presente estudio, el pastizal fue el segundo uso con mayor contenido de las variables de MOS, COS y Nt, esto debido a la gran cantidad de raíces finas que genera año con año, lo anterior coincide con lo reportado por (Yerena Yamallel *et al.*, 2014).

Karuku & Mochoge, (2016) determinaron el contenido de nitrógeno en un suelo tipo Luvisol en Kutamani, Kenia, encontrando para la profundidad de 0-15 cm un 39% de N, y para la

profundidad de 15-30 cm un 42.1% de N, los cuales son superiores a los observados en el presente estudio.

Wabusya *et al.* (2020), mencionan que la agricultura a pequeña escala reduce el contenido de COS en el suelo, y que coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio respecto al contenido de COS para el uso agrícola. Por otra parte, Soto *et al.*, (2016) realizaron una investigación en parcelas agrícolas en Tlaxcala, México, en el que evaluaron el contenido de MOS, COS y Nt, así como la relación C:N, en el cual los resultados obtenidos fueron menores a los encontrados en esta investigación para el uso agrícola.

En Buenos Aires, Argentina, se encontró que las plantaciones de pino y pastizal secundario presentaron un incremento del COS, ya que, al realizarse la reforestación de pino en áreas de pastizal, permitió mejorar el nivel de carbono en el suelo (Di Gerónimo *et al.*, 2018), por lo que es una práctica recomendable para mejorar las propiedades del suelo, tal como lo están realizando algunos pequeños propietarios, ejidos y comunidades del área de estudio.

El cambio de uso del suelo influye en las variables evaluadas, en las cuales se pudo observar diferencias en el contenido de MOS, COS y Nt, lo cual coincide con las mencionadas por (Wiesmeier *et al.* (2015) en una investigación realizada sobre el impacto de diferentes usos del suelo en el almacenamiento de COS en el Sureste de Alemania, donde encontraron que los efectos del uso de la tierra se vieron fuertemente afectadas por los usos del suelo en el almacenamiento COS.

Las reservas de Carbono y Nitrógeno están influenciadas por los cambios de usos del suelo, así como de las diversas prácticas de manejo, pero también por los ciclos bioquímicos (Cocotle Romero *et al.*, 2022). El contenido de nitrógeno total en todos los usos del suelo se encuentra en una valoración media, de acuerdo con la clasificación para suelos de origen volcánico que establece la NOM-02-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), lo cual indica que en el Bosque de pino y demás usos de suelo, este macronutriente está disponible para su desarrollo.

Por otra parte, Álvarez-Arteaga *et al.* (2013) estimaron el almacén de carbono orgánico en bosque montano de niebla en la Sierra Norte de Oaxaca, en el cual encontraron una mayor reserva comparado con esta investigación.

El almacenamiento de carbono orgánico del suelo tipo Luvisol en los diferentes usos varió de 50.59 a 66.01 Mg ha⁻¹ a la profundidad de 10 cm. Estos valores son mayores a los reportados por (Castillo *et al.* (2016), quienes evaluaron diferentes coberturas y cultivos en la cuenca del Río Mololoa, Nayarit, México, y a los reportados por Cantú Silva & Luna Robles (2022) en un suelo tipo Umbrisol en bosque de pino encino en Durango, pero similares a los valores reportados por Álvarez-Arteaga *et al.* (2013) para diferentes sistemas agroforestales en el municipio Líbano, Tolima, Colombia con almacenamiento de nitrógeno total de 3.50 a 4.36 Mg ha⁻¹. Para la profundidad de 10 a 30 cm, el Luvisol acumuló 56.82% del total del COS en el bosque de pino y 72.03% en el pastizal. Asimismo, respecto al reservorio de Nitrógeno total en esta profundidad, el bosque de pino acumuló 56.56%, y la plantación de pino 71.78%.

El Luvisol en el perfil de profundidad de 0 a 30 cm tiene un alto potencial para la reserva de COS y Nt, pues la media entre los usos evaluados promedió un total de 160.63 y 10.38 Mg ha⁻¹, respectivamente. Los valores obtenidos en el presente estudio son mayores a los reportados por Martínez Soto *et al.* (2023) en dos usos de suelo a la profundidad de un metro en un suelo tipo Cambisol, en donde se observó el potencial que tienen los pastizales para la reserva de COS y Nt, así como de la vegetación de Matorral Espinoso Tamaulipeco. Así mismo, Cantú Silva & Bejar Pulido (2024), mencionan que el cambio de uso del suelo de forestal a uso agrícola tiene un efecto significativo en el reservorio de Carbono orgánico y de nitrógeno total en un suelo tipo Andosol. Por otra parte, Cantú Silva & Luna Robles (2022) señalan que los tratamientos silvícolas como Matarrasa y Arboles padre en Bosque de pino influyen en la reserva de COS y Nt, al acelerar la incorporación del material orgánico al suelo.

Finalmente, Foote *et al.* (2015), con base en una investigación realizada en Canadá y Estados Unidos, mencionan que existe un incremento en el contenido de C y N en el suelo después de dos décadas del aprovechamiento, debido a la acumulación de la materia orgánica. Lo que indica que es un proceso lento, y en este sentido la microcuenca Río La Venta, Copalita, debe mantener la cobertura forestal, debido a que es área con un alto potencial para la reserva de Carbono y Nitrógeno.

CONCLUSIONES

Existe un efecto por el cambio del uso del suelo en el contenido de las propiedades químicas evaluadas, destacando la importancia de la cobertura forestal, al ser el bosque de pino el uso de suelo que presentó los valores más altos.

El suelo tipo Luvisol en la microcuenca es un importante reservorio de COS y Nt en los diferentes usos a la profundidad de 0 a 30 cm.

Los resultados obtenidos servirán de base para la toma de decisiones en el manejo de los diferentes usos de suelo de la microcuenca Río La Venta, Copalita, Oaxaca.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Arteaga, G., Calderón, N. E. G., Krasilnikov, P., & García-Oliva, F. (2013). Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171–180.
- Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Szein, A. E., & Sparks, D. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. In *Science* (Vol. 348, Issue 6235). <https://doi.org/10.1126/science.1261071>
- Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82–96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Cantú Silva, I., & Bejar Pulido, S. J. (2024). Impacts of land use change on carbon and nitrogen stocks in an Andosol in Michoacan, Mexico. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(3), 1305–1314. <https://doi.org/10.21608/ejss.2024.285526.1757>
- Cantú Silva, I., & Luna Robles, E. O. (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. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1055>
- Cantú Silva, I., & Yañez Díaz, M. I. (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), 122–151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. In *Colección INCAPA*.
- Castillo, L., Bojórquez, J., Hernández, A., & García, D. (2016). Contenidos de Carbono Orgánico en Suelos Bajo Diferentes Coberturas Vegetales y de Cultivo. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 72–78.
- Cocotle Romero Lourdes, Ramírez Salazar María, & Hernández Castellanos Benito. (2022). *Impacto en la calidad del suelo mediada por el cambio de uso en el Cofre de Perote, México*. 14, 1–8.
- CONAFOR. (2016). *Estudio de cuenca de abasto para el desarrollo industrial forestal maderable de la región Copalita, Oaxaca* (A. C. Colegio de Profesionales Forestales de Oaxaca, Ed.). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/254061/Estudio_de_cuenca_de_abasto_-_Copalita_Oaxaca.pdf
- Di Gerónimo, P. F., Videla, C., Fernández, M. E., Zamuner, E. C., & Laclau, P. (2018). Cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo asociados al reemplazo de pastizales naturales por *Pinus radiata* D. Don y rotaciones agrícolas. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 34(ahead), 89–101. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000302>
- FAO. (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Compendio de datos. In *Food and Agriculture Organization (FAO)*.
- FAO. (2017a). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. (Wiese Liesl, Alcantara Viridiana, Baritz Rainer, & Vargas Ronald, Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

- FAO. (2017b). Mapa de Carbono Orgánico del Suelo. *Alianza Mundial Por El Suelo*.
- Footo, J. A., Boutton, T. W., & Scott, D. A. (2015). Soil C and N storage and microbial biomass in US southern pine forests: Influence of forest management. *Forest Ecology and Management*, 355, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.036>
- Galicia, L., Gamboa, A., Cram, S., Chávez, B., Peña, V., Saynes, V., & Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1–29.
- García, E. (2004). Modificaciones Al Sistema de Clasificación Climática de Köppen Para Adaptarlo a Las Condiciones de la República Mexicana. In *Comisión Nacional para el estudio de la Biodiversidad*.
- IBM. (2013). *IBM SPSS Statistics for Windows* (22.0).
- INEGI. (2013). *Carta Edafológica, Villa de Zaachila, Serie II, escala 1:2 50 000*.
- IUSS. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. I* (IUSS Working Group WRB & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Eds.; Vol. 1).
- Karuku, G. N., & Mochoge, B. O. (2016). Nitrogen Forms in Three Kenyan soils Nitisols, luvisols and Ferralsols. *International Journal for Innovation Education and Research*, 4(10), 17–30. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol4.iss10.594>
- Leija-Loredo, E. G., Reyes-Hernández, H., Reyes-Pérez, O., Flores-Flores, J. L., & Sahagún-Sánchez, F. J. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera Bosques*, 22(1), 125–140. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221481>
- Leyva-Pablo, T., De León-González, F., Etchevers-Barra, J. D., Cortés-Pérez, M., Santiago-García, W., Ponce Mendoza, A., & Fuentes Ponce, M. H. (2021). Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal comunitario. *Madera y Bosques*, 27(4), 1–18. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742421>
- Lv, P., Sun, S., Medina-Roldánd, E., Zhao, S., Hu, Y., Guo, A., & Zuo, X. (2021). Effects of habitat types on the dynamic changes in allocation in carbon and nitrogen storage of vegetation–soil system in sandy grasslands: How habitat types affect C and N allocation? *Ecology and Evolution*, 11(13), 9079–9091. <https://doi.org/10.1002/ece3.7751>
- Madrigal Reyes, S., Cristóbal Acevedo, D., Hernández Acosta, E., & Romo Lozano, J. 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. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>
- Martínez Soto, R. A., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., González Rodríguez, H., & Bejar Pulido, S. J. (2023). Reservorio de carbono y nitrógeno en un suelo Cambisol bajo dos usos de suelo en Linares, Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(79), 4–30. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1339>
- Monreal, C. M., Etchevers, J. D., Acosta, M., Hidalgo, C., Padilla, J., López, R. M., Jiménez, L., & Velázquez, A. (2005). A method for measuring above- and below-ground C stocks in hillside landscapes. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(4), 523–530. <https://doi.org/10.4141/s04-086>
- Nene Preciado, A. J., González Sansón, G., Mendoza Cantú, M. E., & Silva Bátiz, F. de A. (2017). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico Central Mexicano. *Investigaciones Geográficas*, 94, 64–81. <https://doi.org/10.14350/rig.56770>
- Pacheco Rivera, D., & Dávila Aranda, P. (2004). Sinopsis de las gramíneas de Oaxaca, México. *Acta Botanica Mexicana*, 69, 83–114. <https://doi.org/10.21829/abm69.2004.982>
- Page, A. L. (1982). Methods of soil analysis-Part 2: Chemical and Microbiological properties. (2nd edition). *Am. Soc. Agron. Inc. Publ. Madison, USA*, 9(2), 1–1159.
- SEMARNAT. (2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. *Diario Oficial de La Federación*.

Recibido:
8/noviembre/2024

Aceptado:
9/junio/2025

- Soto, E. S., Hernández, M., Santos, H., Ortiz, E., & García, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98–102.
- Vela Correa, G., Blanco, J. L., & De Lourdes Rodríguez Gamiño, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el suelo de conservación del distrito federal, centro de México. *Investigaciones Geograficas*, 77, 18–30. <https://doi.org/10.14350/rig.31007>
- Vergara-Sánchez, M. Á., Etchevers-Barra, J. D., & Padilla-Cuevas, J. (2005). La fertilidad de los suelos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 39(3), 259–266.
- Wabusya, W. M., Pili, N. N., Bekuta, B. K., Tsingalia, H. M., & Kakembo, V. (2020). Effects of land-use changes on soil chemical parameters in Kakamega-Nandi forest complex. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), 1. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3064>
- Wiesmeier, M., Lützw, M. von, Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., & Kögel-Knabner, I. (2015). Land use effects on organic carbon storage in soils of Bavaria: The importance of soil types. *Soil and Tillage Research*, 146(PB). <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.003>
- Woerner. (1989). *Método químico para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas* (UANL). Facultad de Ciencias Forestales, Departamento Agroforestal, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Xue, Z., & An, S. (2018). Changes in soil organic carbon and total nitrogen at a small watershed scale as the result of land use conversion on the Loess Plateau. *Sustainability (Switzerland)*, 10(12), 1–4757. <https://doi.org/10.3390/SU10124757>
- Yerena Yamalle, J. I., Jiménez Pérez, J., Alanís Rodríguez, E., Aguirre Calderón, O. A., González Tagle, M. A., & Treviño Garza, E. J. (2014). Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 113–121.