



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.153>

Artículo

Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México

Physicochemical characterization of a Calcisol under different land -use systems in Northeastern Mexico

Israel Cantú Silva^{1*}, Karla E. Díaz García¹, María Inés Yáñez Díaz¹, Humberto González Rodríguez¹ y Rodolfo A. Martínez Soto¹

Abstract:

Changes in land use cause variations in the physicochemical characteristics of soil. The present study aims to quantify the changes in the physicochemical characteristics of a Calcisol in three land uses in the Northeast of Mexico: Native Vegetation Area (AVN), Cropland Area (AA) and Pasture Area (ASP). Four composite soil samples were taken at 0-5 and 5-30 cm depth from each land- use plot. The variables bulk density, texture, mechanical resistance to penetration, organic matter, pH and electric conductivity were determined. The analysis of variance showed differences in the organic matter with values of 4.2 % for AVN, 2.08 % for ASP and 1.19 % and for AA in the depth 0-5 cm. The texture was clay loam for AA, silty loam for ASP and loam for AVN showing differences. The soil under the three types of land -use presented low salinity (70.2 to 396.0 $\mu\text{S cm}^{-1}$) showing differences at both depths. The soil hardness showed differences ($p \leq 0.05$) between plots. The AA showed lower values (0.78 kg cm^{-2}), contrasting with the values obtained for ASP (2.98 kg cm^{-2}) and AVN (3.10 kg cm^{-2}). The pH and bulk density did not show. On the other hand, the decrease of the soil's organic carbon in the first 5 cm depth was up to 71.6 % when cultivating an area over a period of 60 years that was originally a thornscrub. Furthermore, the abandonment of the cropland for the establishment of a grazing system for 15 years led to a re-accumulation of organic matter up to 21.2 %.

Key words: Calcisol, physicochemical characteristics, organic matter, Tamaulipan thornscrub, Northeastern Mexico, land -use systems.

Resumen:

Los cambios en el uso del suelo provocan variaciones en sus características fisicoquímicas. El objetivo del presente estudio fue cuantificar dichos cambios de un Calcisol en tres tipos de uso de suelo: Área de Vegetación Nativa (AVN), Área Agrícola (AA) y Área Sometida a Pastoreo (ASP). Se tomaron cuatro muestras compuestas de suelo a 0-5 y 5-30 cm de profundidad para cada tipo de uso. Se determinaron las variables: densidad aparente, textura, resistencia mecánica a la penetración, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica. Los análisis de varianza mostraron diferencias en la materia orgánica con valores de 4.2 % para AVN, 2.08 % para ASP y 1.19 % para AA en la profundidad 0-5 cm. La textura fue arcillo-limoso para AA, franco- arcillosa para ASP y franco para AVN, con diferencias. Los tres tipos de uso tienen escasa salinidad (70.2 a 396.0 $\mu\text{S cm}^{-1}$), y confirman diferencias en ambas profundidades. La resistencia mecánica a la penetración mostró diferencias ($p \leq 0.05$) entre los usos del suelo; AA registró 0.78 kg cm^{-2} ASP 2.98 kg cm^{-2} y AVN 3.10 kg cm^{-2} . En este contexto, el pH y la densidad aparente no tuvieron diferencias. La disminución del carbono orgánico del suelo en los primeros 5 cm de profundidad fue de 71.6 % después de cultivar un área por 60 años que originalmente fue matorral. Además, el abandono del cultivo para establecer un sistema de pastoreo por 15 años condujo a una re-acumulación de la materia orgánica de hasta un 21.2 %.

Palabras clave: Calcisol, características fisicoquímicas, materia orgánica, matorral espinoso tamaulipeco, noreste de México, sistema de uso de suelo.

Fecha de recepción/Reception date: 11 de diciembre de 2017

Fecha de Aceptación/Acceptance date: 24 de julio de 2018

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México. correo-e: icantu59@gmail.com

Introducción

Los suelos proporcionan múltiples servicios ecosistémicos como soporte físico y de infraestructura para la agricultura, actividades forestales, recreativas y agropecuarias, y socioeconómicas como vivienda, industria y carreteras; son el hábitat de miles de organismos y el escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos (Volke *et al.*, 2005; Smith *et al.*, 2016).

La degradación del suelo es un proceso que disminuye la capacidad y potencial para producir cuantitativamente y cualitativamente bienes y servicios (García *et al.*, 2012). En México, 24 % de la degradación de los suelos son resultado de la deforestación y del cambio de uso de suelo (Sánchez-Castillo *et al.*, 2014), que reduce la producción actual y potencial de los ecosistemas (Celaya *et al.*, 2015).

En la actualidad para el territorio nacional, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales informa que las principales causas de la degradación de los suelos son las actividades agrícolas (17.44 %), sobrepastoreo (17.45 %), deforestación y remoción de la vegetación (7.38 %), urbanización (1.45 %), sobreexplotación de la vegetación para uso doméstico (1.07 %), y actividades industriales (0.23 %) de la superficie del país (Semarnat, 2013). En el estado de Nuevo León, el cambio de uso de suelo es uno de los factores críticos que afectan la sustentabilidad de los recursos naturales ya que se estima que, de la superficie forestal total de 2 708 104 ha, se deforestan 16 010 ha año⁻¹ con una tasa de 0.6 % anual (Céspedes y Moreno, 2010).

La capacidad productiva de un suelo está determinada por propiedades intrínsecas como la textura y la estructura, mientras que otras como el pH y la materia orgánica pueden ser manipuladas por el manejo (Mishra y Sharma, 2010). El cambio de uso de suelo llega a alterar radicalmente la cubierta vegetal aún en lapsos de tiempo breves, y provoca transformaciones en las propiedades físicas, químicas y microbianas del suelo; además, propicia la pérdida de carbono por efecto de la perturbación humana directa o indirecta en diversos grados, lo que constituye un importante factor de cambio global (Smith *et al.*, 2016).

La materia orgánica del suelo desempeña un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad, al retener y transferir nutrientes a las plantas (Álvarez *et al.*, 2012); es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (producción y economía) como en sus funciones ambientales. Además, es considerada el principal determinante de la actividad biológica del suelo y fuente de nutrientes (Cantú y Yáñez, 2017). Afecta otras propiedades del suelo (Murray *et al.*, 2014) y sus funciones, incluyendo la retención de agua (Carter, 2002), infiltración de aire, de agua (Hillel, 2004) y la estabilidad de agregados (Six *et al.*, 2004); modifica la porosidad y capacidad de agua disponible (Darwish *et al.*, 1995).

Particularmente, los suelos de tipo Calcisol (IUSS, 2015) son de gran valor para el noreste de México y particularmente en la región de Linares, NL, ya que tienen una amplia distribución en las zonas áridas del estado pues cubren 50.50 % (32 707 km²) de su territorio (Semarnat, 2002a). Los calcisoles son suelos en los cuales hay una acumulación sustancial de cal secundaria y se extienden en ambientes áridos y semiáridos, con frecuencia asociados con materiales parentales de alto contenido calcáreo (Akça *et al.*, 2018).

A partir de las consideraciones anteriores, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los cambios de uso del suelo en las propiedades físicas y químicas de un Calcisol bajo tres diferentes sistemas de uso del suelo.

Materiales y Métodos

El área de estudio

El área de estudio se ubica en tres predios colindantes pertenecientes al ejido de Gatos Güeros en el municipio Linares, Nuevo León, sobre las coordenadas 25°07'55.2" N; 99°18'59.1" O, con una altitud de 225 m (Figura 1). Los predios seleccionados se sitúan en la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos y se caracterizan por la presencia de llanos interrumpidos por lomeríos dispersos, bajos de

pendientes suaves y constituidos por conglomerados. El tipo de clima es BS₁(h') semiseco muy cálido-cálido, con precipitación promedio anual de 600-700 mm, temperatura media anual de 22.4 °C y la del mes más frío es mayor a 18 °C; las lluvias de verano y el porcentaje de lluvia invernal es de 5 % a 10.2 % del total anual (García, 1981).

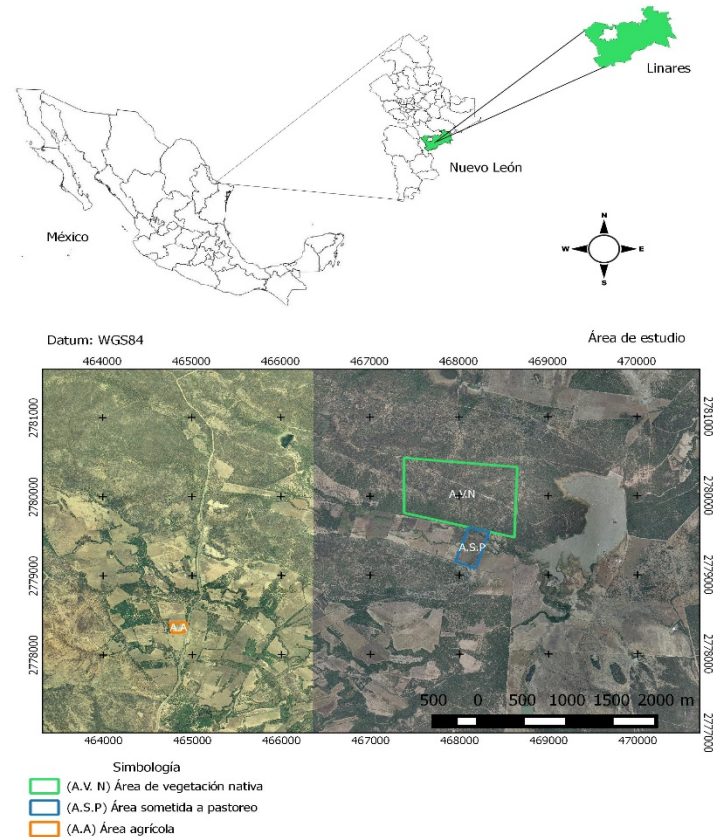


Figura 1. Localización del área de estudio.

La vegetación está representada por el Matorral Espinoso Tamaulipeco, que se conforma de vegetación densa y muy diversa de plantas arbustivas y arbóreas, que se distinguen por un amplio rango de grupos taxonómicos con diferencias en hábitos de crecimiento, longevidad foliar y fenología (González *et al.*, 2007). En la Subprovincia predominan los suelos claros, que son clasificados como calcisoles lúvicos, cálcicos y háplicos; estos suelos se presentan en todos los sistemas de topofomas pero sobre todo en la gran llanura aluvial (Inegi, 1986). Los calcisoles son suelos en los cuales hay una acumulación secundaria sustancial de material

calcáreo y se les encuentra en ambientes áridos y semiáridos, con frecuencia asociados con materiales parentales de esa composición (IUSS, 2015).

Sistemas de uso del suelo y parcelas experimentales

En el sitio de investigación se seleccionaron tres parcelas experimentales con diferentes usos de suelo para evaluar la textura del suelo, el pH, la densidad aparente, la resistencia mecánica a la penetración, la conductividad eléctrica, la materia orgánica y el carbono orgánico.

El primer uso del suelo, que corresponde a la parcela del Área de Vegetación Nativa (AVN), contiene vegetación nativa (Matorral Espinoso Tamaulipeco) dominada por arbustos, densos y espinosos, con una amplia gama de patrones de crecimiento, diversas épocas de vida de las hojas, texturas y dinámicas de crecimiento contrastantes, así como su taxonomía y fenología. Este sistema tiene más de 100 años sin intervención humana.

El segundo uso del suelo es un Área Agrícola (AA); con cultivo de maíz de temporal en la que solo se usa yunta y se implementan prácticas de agricultura de conservación; la antigüedad de la parcela es de 60 años.

El tercer uso del suelo se le denominó Área Sometida a Pastoreo (ASP); corresponde a un sistema de producción con ganadería intensiva y rotación de potreros y hace aproximadamente 15 años se cambió de parcela agrícola de temporal y se sembró pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* Fig. & De Not.), pasto Pretoria (*Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf.) y pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst).

El tipo de suelo en los tres sistemas de uso del suelo investigados es Calcisol, de tipo Calcisol lúvico según la clasificación de *World Reference Base for Soil Resources* (IUSS, 2015).

Muestreo de suelo

En enero de 2017 se colectaron cuatro muestras compuestas a dos profundidades (0-5 y 5-30 cm.), con cuatro submuestras cada una hasta obtener aproximadamente 1 kg de suelo. El muestreo fue aleatorio en cada uno de los tres sistemas de uso de suelo. Las muestras (n=24) se llevaron al Laboratorio de Suelos y Nutrición de bosques de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, donde se secaron a la sombra a temperatura ambiente, se cribaron con malla 0.2 mm y se prepararon para su análisis químico.

Caracterización fisicoquímica del suelo

La caracterización del suelo se basó en la medición de las siguientes variables: la materia orgánica (MO) se determinó mediante 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 ($K_2Cr_2O_7$), agregado a 0.5 g de suelo, 25 mL de $K_2Cr_2O_7$ y 25 mL H_2SO_4 y titulación del exceso de dicromato con sulfato ferroso 0.2M ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$). Con este procedimiento se obtuvo el contenido de materia orgánica y carbono orgánico del suelo (CO) bajo el supuesto de que la primera contiene 58 % de carbono (Castellanos *et al.*, 2000). Se midió la reacción del suelo (pH) por el método AS-23 de la NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002b), mediante la suspensión suelo: $CaCl_2$ 0.01 M a una relación 1:2, a través de un electrodo de vidrio. La conductividad eléctrica (CE) por determinación rápida en suspensión suelo-agua 1:5 (Woerner, 1989); tanto pH y CE se registraron en un pH/conductivímetro marca *Corning*, modelo 542. La textura del suelo se definió por el procedimiento de *Bouyoucos* por el método AS-09 de la NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002b). La densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Woerner, 1989) y la medición de la resistencia mecánica a la penetración (RMP) ($kg\ cm^{-2}$) se evaluó con el medidor de dureza del suelo o penetrómetro, tipo *Yamanaka* (Tada, 1987).

Análisis estadísticos

Las variables de interés fueron analizadas estadísticamente en un diseño completamente al azar con arreglo factorial, por usos de suelo (A, 3) y profundidad (B, 2) con cuatro repeticiones. Se realizaron pruebas de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* y de homocedasticidad de *Levene* (Sokal y Rohlf, 2003).

Se trabajó sobre las variables originales para pH, densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración y se transformaron las variables de arcilla, limo a raíz cuadrada y las variables materia orgánica, carbono orgánico y conductividad eléctrica a logaritmo natural. Se hizo la comparación de medias con la prueba de *Tukey* ($p \leq 0.05$) y se manejaron las variables originales para el análisis de correlación de *Spearman*. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete computacional *Statistical Package for the Social Sciences*, versión 13.0 para *Windows* (SPSS, 2013).

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos para las variables MO, CO, pH, CE, DA, RMP, arena, limo y arcilla, analizadas en las profundidades 0-5 y 5-30 cm en los tres sistemas de uso de suelo se presentan en los cuadros 1 y 2. En la profundidad perteneciente al horizonte orgánico, MO y CO registraron los valores más altos en los diferentes usos del suelo, en contraste se observaron valores mayores de pH y CE en la profundidad 5-30 cm.

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

	Uso	Media	Mediana	Desv. Std.	Min	Max
MO (%)	Pastizal (ASP)	2.08	2.03	0.281	1.80	2.47
	Matorral (AVN)	4.20	3.91	2.54	1.72	7.28
	Agrícola (AA)	1.19	1.13	0.221	0.99	1.50
CO (%)	Pastizal (ASP)	1.21	1.18	0.163	1.04	1.43
	Matorral (AVN)	2.43	2.27	1.473	1.00	4.22
	Agrícola (AA)	0.69	0.65	0.128	0.58	0.87
pH	Pastizal (ASP)	7.60	7.55	0.141	7.50	7.80
	Matorral (AVN)	7.30	7.45	0.483	6.60	7.70
	Agrícola (AA)	7.73	7.75	0.096	7.60	7.80
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Pastizal (ASP)	116.73	115.65	14.990	103.30	132.30
	Matorral (AVN)	80.10	77.84	12.726	68.8	96.10
	Agrícola (AA)	79.70	80.05	8.180	70.2	88.50
DA (g cm^{-3})	Pastizal (ASP)	1.32	1.32	0.078	1.23	1.38
	Matorral (AVN)	1.24	1.21	0.079	1.19	1.36
	Agrícola (AA)	1.27	1.26	0.021	1.25	1.29
RMP (kg cm^{-2})	Pastizal (ASP)	2.98	2.95	0.818	2.00	4.00
	Matorral (AVN)	3.10	3.00	0.663	2.40	4.00
	Agrícola (AA)	0.78	0.80	0.222	0.50	1.00
Arena (%)	Pastizal (ASP)	14.04	16.04	4.000	8.04	16.04
	Matorral (AVN)	31.94	21.76	30.900	7.48	76.76
	Agrícola (AA)	9.84	12.32	6.214	0.68	14.04
Limo (%)	Pastizal (ASP)	67.50	66.00	4.435	64.00	74.00
	Matorral (AVN)	47.96	56.00	23.650	13.28	66.56
	Agrícola (AA)	54.72	54.72	3.651	50.72	58.72
Arcilla	Pastizal (ASP)	18.46	17.96	1.000	17.96	19.96

(%)	Matorral (AVN)	20.10	21.60	8.089	9.96	27.24
	Agrícola (AA)	35.78	35.96	7.022	27.24	43.96

MO = Materia orgánica; CO = Carbono orgánico; pH = Potencial de hidrógeno; CE = Conductividad eléctrica; DA = Densidad aparente; RMP = Resistencia mecánica a la penetración.

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

	Uso	Media	Mediana	Desv. Std.	Min	Max
MO	Pastizal (ASP)	0.87	0.87	0.125	0.70	0.99
(%)	Matorral (AVN)	1.11	1.10	0.334	0.81	1.42
	Agrícola (AA)	0.90	0.97	0.178	0.64	1.02
CO	Pastizal (ASP)	0.50	0.51	0.072	0.41	0.58
(%)	Matorral (AVN)	0.64	0.64	0.194	0.47	0.83
	Agrícola (AA)	0.52	0.56	0.103	0.37	0.59
pH	Pastizal (ASP)	8.05	8.05	0.129	7.90	8.20
	Matorral (AVN)	7.75	7.65	0.238	7.60	8.10
	Agrícola (AA)	7.78	7.80	0.050	7.70	7.80
CE	Pastizal (ASP)	255.63	254.50	14.720	239.50	274.00
($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Matorral (AVN)	155.80	76.30	160.140	74.60	396.00
	Agrícola (AA)	73.48	68.75	13.910	62.70	93.70
Arena	Pastizal (ASP)	9.04	8.04	3.464	6.04	14.04
(%)	Matorral (AVN)	24.76	24.76	1.633	22.76	26.76
	Agrícola (AA)	6.32	6.32	2.582	3.32	9.32
Limo	Pastizal (ASP)	72.50	75.00	5.745	64.00	76.00
(%)	Matorral (AVN)	48.32	48.00	8.320	39.28	58.00

	Agrícola (AA)	45.04	45.72	3.180	40.72	48.00
Arcilla	Pastizal (ASP)	18.46	17.96	2.517	15.96	21.96
(%)	Matorral (AVN)	26.92	27.24	6.850	19.24	33.96
	Agrícola (AA)	48.64	48.96	1.611	46.68	49.96

MO = Materia orgánica; CO = Carbono orgánico; pH = Potencial de hidrógeno; CE = Conductividad eléctrica

Los contenidos más altos de MO y CO se ubicaron en el área de matorral (AVN) en la profundidad 0-5 cm con valores promedio de 4.2 y 2.43 %, respectivamente, que corresponde a un suelo con contenido alto (Woerner, 1989). Por el contrario, el área agrícola (AA) registró las cifras más bajas en la misma profundidad (MO 1.19 % y CO 0.69 %), con un contenido de carbono ponderado como bajo, decremento que puede atribuirse a los procesos asociados a las mismas prácticas agrícolas. Aghasi *et al.* (2010) concluyeron que los cambios de uso de suelo disminuyen la calidad del sustrato edáfico e incrementan su degradación, al reducir el retorno de la materia orgánica.

Los valores de DA variaron de 1.19 a 1.38 g cm⁻³, entre los cuales el área de pastizal (ASP) tuvo el promedio más alto (1.32 g cm⁻³), mientras que el matorral (AVN), el promedio menor (1.24 g cm⁻³). Lo anterior se explicaría por las prácticas de manejo de pastoreo, que compactan el suelo por el pisoteo de los bovinos.

Los resultados más destacados de resistencia mecánica a la penetración fueron para AVN (2.98 kg cm⁻²) y ASP (3.10 kg cm⁻²), y lo contrario para AA (0.78 kg cm⁻²).

El orden de contenido de MO y RMP para los diferentes usos del suelo en la profundidad de 0-5 cm fue el siguiente: Matorral > Pastizal > Agrícola; mientras que para la profundidad 5-30 cm el orden de contenido de MO fue el siguiente: Matorral > Agrícola > Pastizal. Los valores de la DA para los diferentes usos del suelo fueron en el siguiente orden: Pastizal > Agrícola > Matorral.

Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y Pruebas de *Tukey* (coeficientes de confianza $\alpha=0.05$) mediante las cuales se compararon pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono

orgánico y las fracciones granulométricas (arenas, limos y arcillas) a profundidades de 0-5 y 5-30 cm.

Mediante un análisis de varianza se encontraron diferencias significativas para todas las variables estudiadas para el factor uso de suelo (FA), excepto para el pH; para el factor profundidad (FB) Arena y Limo fueron las únicas variables que no presentaron diferencias; y solo la MO y CO presentaron diferencias para la interacción (FA*FB) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para el modelo con dos criterios de clasificación, (uso del suelo y profundidad) y el contraste de Levene para pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), arena, arcilla y limo.

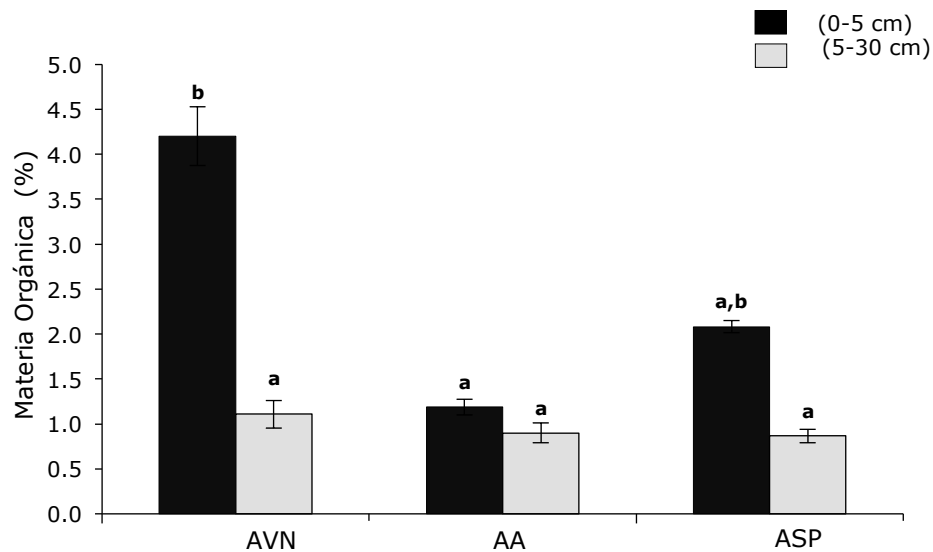
Variables	Factor FA^(a)	Factor FB^(b)	Interacción (FA*FB)	Prueba de Levene^(c)	R² ajustada
pH	3.458 ^{NS}	10.670**	1.892 ^{NS}	0.035	0.416
CE	11.113**	5.894*	3.005 ^{NS}	0.002	0.559
MO	8.084**	35.020**	4.146*	0.000	0.703
CO	8.085**	35.023**	4.16*	0.000	0.703
Arena	7.724**	0.804 ^{NS}	0.809 ^{NS}	0.044	0.332
Arcilla	34.120**	6.755*	1.838 ^{NS}	0.004	0.762
Limo	6.816**	0.018 ^{NS}	0.746 ^{NS}	0.004	0.306

FA^(a) = Uso de Suelo, FB^(b) = Profundidad, Levene^(c) = Prueba de homogeneidad de varianza; *Diferencias significativas ($p \leq 0.05$); **Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$); ^{NS} = No Significativo.



Materia orgánica

La prueba de *Tukey* para MO mostró únicamente diferencias para la profundidad 0-5 cm, en el matorral y el pastizal en particular, donde se reúne el contenido más alto; en contraste, en el sistema agrícola sucedió lo contrario (Figura 2). En un Vertisol bajo tres usos del suelo (matorral, agrícola y vegetación secundaria), Llorente (2004) identificó que el CO fue diferente entre los sistemas únicamente para los primeros 20 cm de profundidad, pero fue igual para los subsecuentes hasta los 70 cm. Sus resultados también concuerdan en que el matorral concentra el mayor contenido de CO y el agrícola con el menor. Gol (2009) en Turquía concluyó que la conversión del bosque natural a cultivo continuo provocó disminuciones estadísticamente significativas en el contenido de MO.



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

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

Existen diferencias significativas entre usos del suelo en el contenido de materia orgánica y carbono orgánico para la profundidad de 0-5 cm, pero los valores son más altos en AVN (4.20 y 2.43 %), en comparación con los de AA (1.19 y 0.69 %). La máxima acumulación de materia orgánica fue en la profundidad de 0-5 cm en los usos del suelo de AVN y ASP, con tendencia a disminuir a medida que aumenta la profundidad. Esta diferencia en la distribución de la materia orgánica en estos dos sistemas se debe, principalmente, a que en el AVN el aporte de materiales naturales ocurre sobre la superficie del suelo en forma de hojarasca, ramas y otras estructuras; mientras que en el ASP el aporte de la materia orgánica se produce desde las raíces de las gramíneas dentro de la parte superior del suelo como humus rizógeno (Baldock y Nelson, 2000).

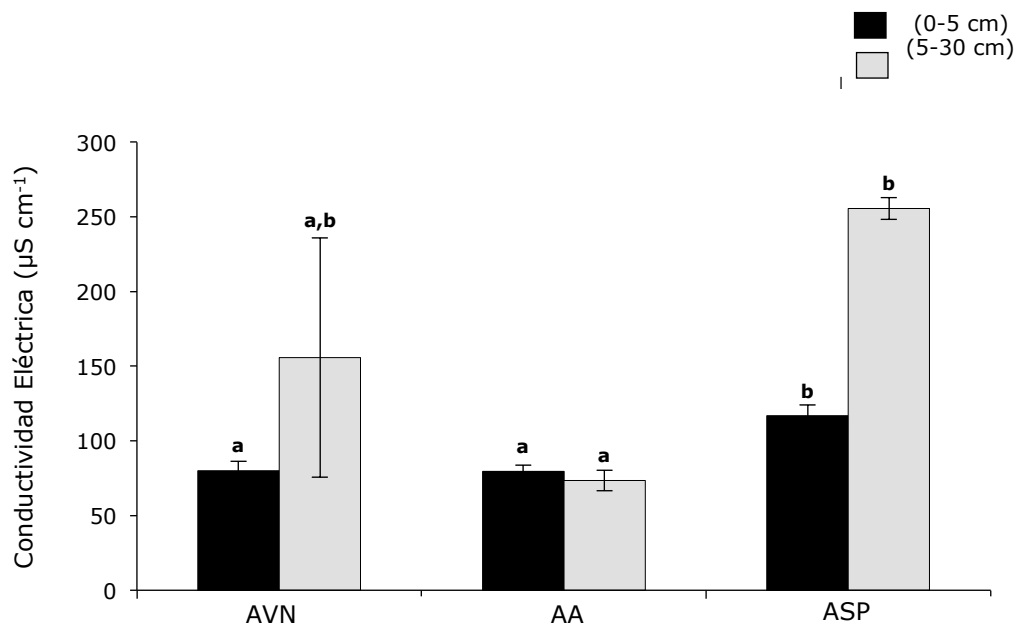
La tasa de reducción de la materia orgánica al cultivar un área depende fundamentalmente de la intensidad del manejo y las características edáficas y climáticas; la mayor tasa de reducción se produce en los primeros 5 a 10 años (Lorente, 2004). Se estimó que la disminución de la MO del suelo en la profundidad de 0-5 cm fue de 71.6 %; si esos terrenos se cultivaron por 60 años, y que originalmente fue matorral, por un lado, y que el ASP hace 15 años fue cultivada, es factible que se haya verificado un proceso de reacumulación de materia orgánica, como se propone en el modelo de *Johnson* (1995). En el ASP para la profundidad de 0-5 cm se estimó una recuperación de 21.2 % de MO y CO en un lapso de 15 años (2.08 y 1.21 %, respectivamente). En contraste, para la profundidad de 5-30 cm no ocurrió reacumulación sino una pérdida del 2.7 % de ambos durante el mismo periodo.

Para la profundidad de 5-30 cm, la disminución de MO fue menor (20 %) para ambos tipos de cambio de uso de suelo (agrícola o pastizal). Estos resultados concuerdan con los de Chandran *et al.* (2009), quien estimó que se pierde de 20 a 40 % de la materia orgánica cuando las tierras con vegetación nativa son convertidas a tierras de cultivo; así mismo, Lorente (2004) quien calculó 37 % del carbono orgánico que se pierde al cultivar el suelo que anteriormente estaba ocupado por matorral submontano. Cantú y Yáñez (2017) registraron pérdidas de CO desde 2.5 % en pastizales hasta 65 % en el área agrícola con respecto a la vegetación de matorral para suelos vertisoles. Estas pérdidas son ocasionadas principalmente por la labranza y por la poca cantidad de residuos que se reincorporan al suelo.

pH y Conductividad Eléctrica

El pH y la conductividad eléctrica son indicadores de la calidad del suelo y de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas que influyen en su fertilidad (Castellanos *et al.*, 2000). En general, suelos con pH en un intervalo de 5.8 a 7.5, son considerados como deseables o menos problemáticos para la mayoría de los cultivos (Rodríguez y Rodríguez, 2002). El Calcisol registró promedios de 7.3 a 8.0 respecto a la reacción del suelo (pH) lo que lo clasifica como medianamente alcalino. El ANOVA para pH no reveló diferencias entre los usos de suelo (FA), solo para FB= profundidad se confirmaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), y un incremento del pH en la profundidad de 5-30 cm para los tres sistemas de uso del suelo; en la interacción de FA*FB, no hay diferencias significativas (Cuadro 3).

La CE es una variable edáfica de suma importancia, ya que se relaciona con la absorción de nutrimentos (Salcedo *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos en el análisis de esta variable mostraron diferencias significativas para FA= Uso del Suelo ($p \leq 0.01$) y el FB= Profundidad ($p \leq 0.05$), en contraste la interacción de FA*FB ($p > 0.05$) no presentó diferencias significativas (Cuadro 3). La comparación de medias para la variable conductividad eléctrica (CE) para cada sistema de uso del suelo se ilustra en la Figura 3. La CE varió de 79.7 a 116.7.0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para la profundidad 0-5 cm; los valores de los tres usos del suelo presentaron una clasificación de escasa salinidad, lo que sugiere que no existe restricción de cultivos, y no hay presencia de sales que ejerzan un impacto negativo en la productividad (Figura 3).



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

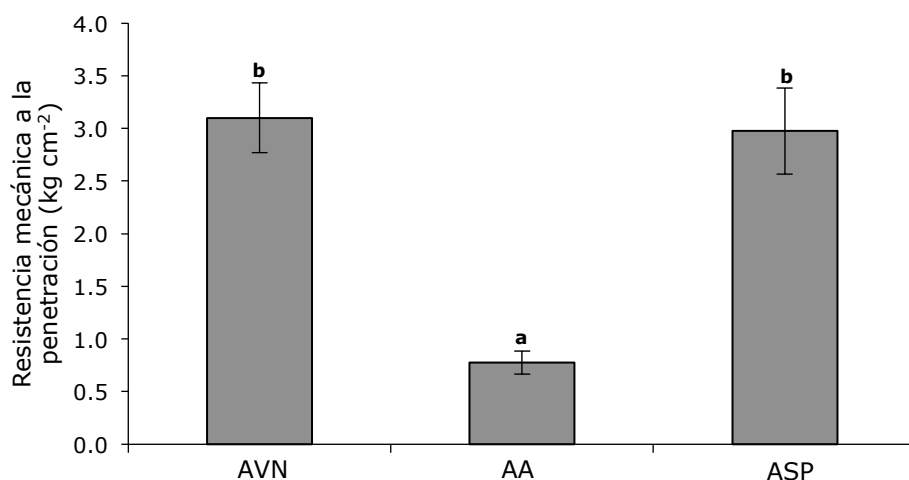
Figura 3. Valores medios de la conductividad eléctrica del suelo en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para los tres usos de suelo.

En las parcelas de AVN y ASP se registró un aumento significativo de conductividad eléctrica con valores de 155.8 y 255.6 $\mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente a los 5-30 cm, mientras que en el AA fueron de 73.4 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para la misma profundidad. Los más altos de las dos áreas antes mencionadas pueden deberse a la presencia de heces de ganado bovino en el ASP y al alto contenido de materia orgánica en el AVN; por el contrario, en el área con los números más bajos, AA, no se utiliza ningún tipo de fertilizante o producto químico.



Densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración

El ANOVA simple para DA que no existen diferencias significativas entre los sistemas de uso del suelo, y ocurrió lo contrario en la RMP ($p \leq 0.05$). La primera varió de 1.24 a 1.32 g cm⁻³, mientras que los rangos de RMP fluctuaron entre 0.78 y 3.1 kg cm⁻² (Figura 4). Fernández *et al.* (2016), identificaron diferencias en la densidad aparente entre bosques y otros usos de suelo, y, atribuyeron el bajo contenido de materia orgánica a la mayor profundidad. Generalmente a una excesiva compactación del suelo provoca una disminución en la calidad del terreno por la reducción de la macroporosidad del suelo y la cantidad de agua y de nutrientes que quedan disponibles para las raíces de las plantas, lo que dificulta su crecimiento.



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

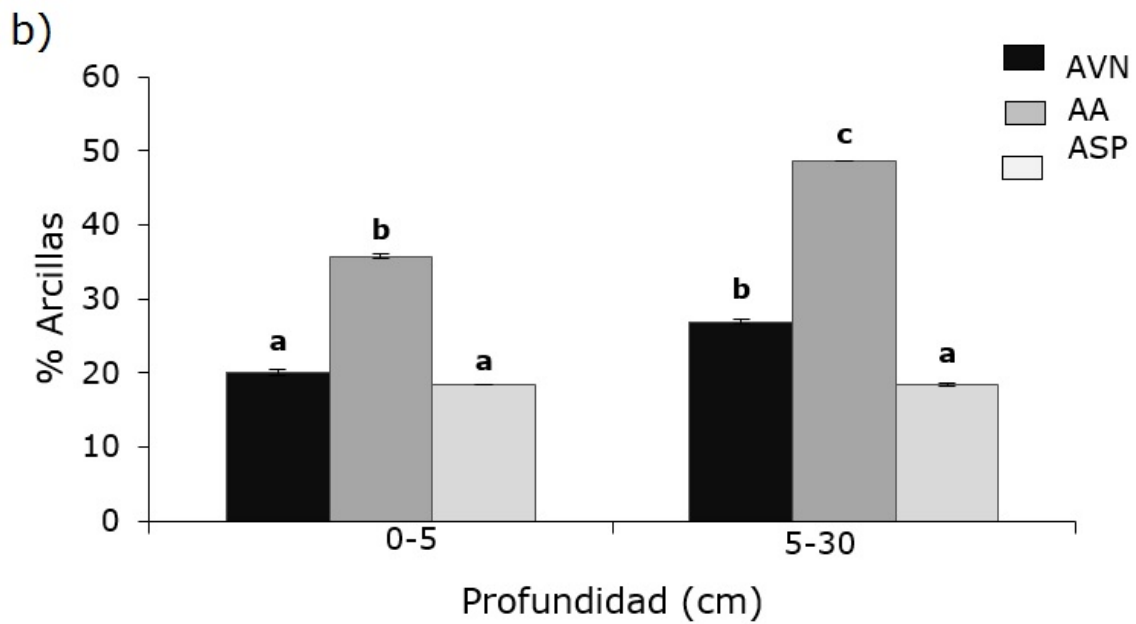
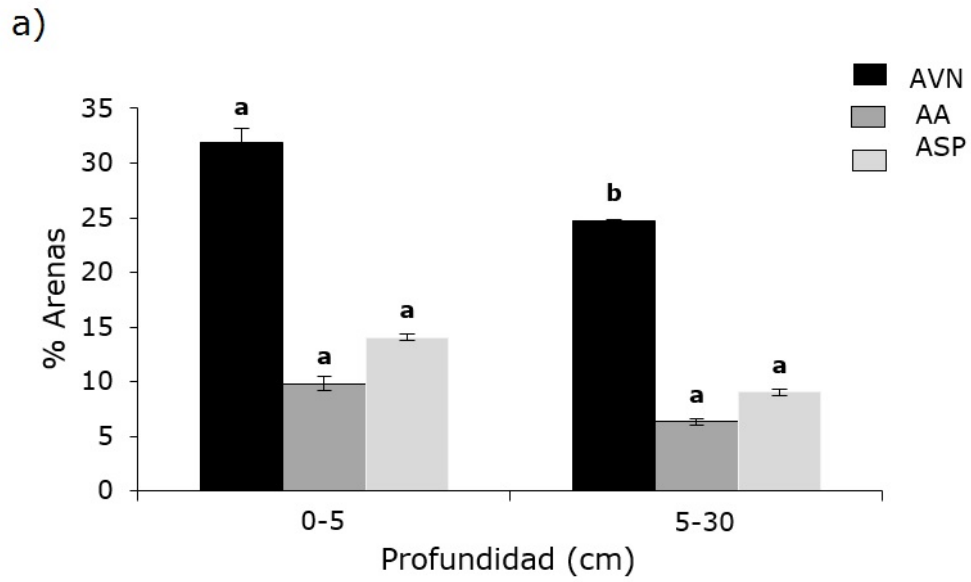
Figura 4. Valores medios de la resistencia mecánica a la penetración para los usos de suelo: AVN (área de vegetación nativa), AA (área agrícola) y ASP (área sometida a pastoreo).

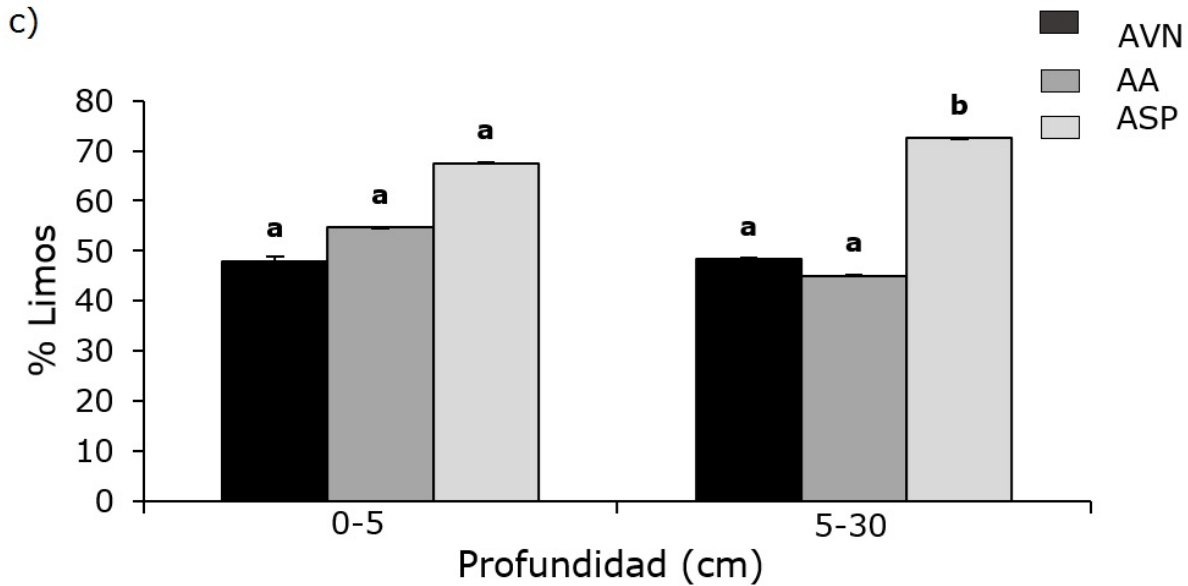
Sin embargo, de acuerdo a las valoraciones propuestas por Woerner (1989), los suelos calcisoles presentaron un grado de compactación muy bajo, debido al buen estado de conservación, la ausencia de pisoteo de ganado en matorral y el aporte de materia orgánica.

Los valores promedio más altos de resistencia mecánica a la penetración se concentran en ASP y AVN con valores de 3.10 kg cm^{-2} y 2.98 kg cm^{-2} , respectivamente. Cabe señalar que el AA fue la que presentó cifras más bajas (0.78 kg cm^{-2}), con una relación de casi 4 a 1 con respecto a los otros usos de suelo. Estos valores pueden explicarse, principalmente para el caso del ASP, por el pisoteo de los animales y en el área agrícola (AA), por la constante roturación con yunta del terreno para la siembra. Mogollón (2012) en su estudio en la Sabana de Bogotá, observó valores de compactación críticos de 20.3 kg cm^{-2} en los primeros 9 cm de profundidad debido al paso de los animales; en los lotes con valores más bajos de 18.5 kg cm^{-2} en los primeros 30 cm de profundidad, se debieron a las labores de preparación para la siembra, las cuales rompen las estructuras compactadas, con lo cual disminuyen la resistencia mecánica a la penetración y la densidad aparente.

Textura

Los resultados del ANOVA de las variables porcentaje de arena, arcilla y limo presentaron diferencias significativas para el factor: FA= Uso de suelo ($p \leq 0.01$), mientras que en el factor FB= Profundidad, solo la arcilla presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) y la interacción de ambos factores FA*FB ($p > 0.05$), no mostraron diferencias significativas (Cuadro 3). Los resultados de la prueba de *Tukey* ($p < 0.05$) para cada fracción de textura a dos profundidades se ilustra en la Figura 5. La arena y el limo solo mostraron diferencias entre los usos para la profundidad 5-30 cm, en la que la arena fue la fracción de mayor contenido en el AVN y para el ASP el limo alcanzó los contenidos más altos y distintos a los otros usos.





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

Figura 5. Valores medios (%) de a) arena, b) arcilla y c) limo en las profundidades 0-5 y 5-30 cm para AVN, AA y ASP.

Con respecto a la arcilla se observaron diferencias en ambas profundidades de suelo; el AA registró los contenidos más altos en ambas profundidades, mientras que el ASP los valores más bajos de arcilla. Con el triángulo de texturas propuesto por la *Internacional Society of Soil Science*, ISSS (Mathieu y Pieltain, 1998), se determinó que el suelo para la profundidad 0-5 cm es Franco (C) para el AVN, Franco arcillo-limoso (Crl) para el AA y Franco limoso (Cl) para el ASP, mientras que en la de mayor profundidad fue Franco (C) para AVN, Arcillo limoso (RI) para AA y para ASP, Franco limoso (Cl).

El análisis granulométrico para ambas profundidades permitió determinar los valores como: muy altos en la proporción de limos (del 45 al 72.5 %), altos en la de arcillas (18.4 al 48.6 %) y bajos para la de arenas (6.3 al 31.9 %). Los números obtenidos concuerdan con lo consignado por Miralles (2006), ya que para los perfiles de tipo Calcisol se distinguieron

texturas franco arcillo arenosas y franco arcillosas, principalmente, y en menor proporción texturas francas y franco limosas.

Algunos estudios demuestran que el uso o manejo del suelo no provoca una alteración a los ecosistemas en la proporción de partículas minerales (Cruz-Ruiz *et al.*, 2012). Sin embargo, se observa que en el arrastre en los estratos más superficiales del suelo (0-5 cm) del Calcisol hay una mayor proporción de arenas, probablemente por el arrastre hídrico de las fracciones más finas del suelo desde las capas superiores, en un proceso eluvial y la iluviación de estas arcillas a mayor profundidad.

Yüksek *et al.* (2010) identifican diferencias significativas en los contenidos de arena, limo y arcillas en diferentes sistemas de uso con respecto a un bosque natural en Turquía.

Dieckow *et al.* (2009) mencionan que la textura del suelo ejerce una función importante en la disminución de los almacenes de carbono después de la conversión de vegetación nativa a tierras de labranza convencional; es menos adversa en suelos arcillosos que en suelos arenosos, debido a la interacción con las superficies (interacción órgano-mineral) y a la protección física de los agregados internos.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis de correlación para la profundidad de 0-5 cm. La conductividad eléctrica presentó una correlación positiva y altamente significativa con el contenido de limos ($r = 0.768$). La materia orgánica registró significancia en correlaciones tanto positivas como negativas con el carbono orgánico ($r = 1.000$), el contenido de arcillas ($r = -0.832$), la densidad aparente ($r = -0.594$) y la resistencia mecánica a la penetración ($r = 0.660$). Así también, la arena tuvo una correlación negativa y significativa con la arcilla ($r = -0.661$). El pH, la arcilla, el limo y la DA no definieron correlación alguna para la profundidad de 0-5 cm.



Cuadro 4. Coeficientes de correlación de *Spearman* para las variables estudiadas (n=12) para la profundidad 0-5 cm.

Variable	pH	CE	MO	CO	AR	ARC	LI	DA	RMP
pH	-								
CE	-0.128	-							
MO	-0.491	0.154	-						
CO	-0.491	0.154	1.000**	-					
AR	-0.308	-1.20	3.80	0.380	-				
ARC	0.390	-1.59	-0.832**	-0.832**	0.661*	-			
LI	-0.121	0.768**	0.291	0.291	-0.392	-0.186	-		
DAP	0.171	0.448	-0.594*	-0.594*	-0.245	0.374	0.77	-	
RMP	-0.492	0.328	0.660*	0.660*	-0.380	-0.546	0.512	-0.226	-

Valores en negritas indican diferencias significativas (**) $p \leq 0.01$, (*) $p \leq 0.05$.

pH = Potencial de hidrógeno; CE = Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica; CO = Carbono orgánico; AR = Arena; ARC = Arcilla; LI = Limo; DA = Densidad aparente; RMP = Resistencia mecánica a la penetración.

Los resultados del análisis de correlación para la profundidad de 5-30 cm indican que la conductividad eléctrica se correlacionó negativamente con las arcillas ($r = -0.625$) y positivamente con el pH ($r = 0.588$). También la correlación entre la arcilla y el limo fue negativa ($r = -0.838$). Así mismo, no se detectó correlación alguna con la arena (Cuadro 5).



Cuadro 5. Coeficientes de correlación de *Spearman* para las variables estudiadas (n=12) para la profundidad 5-30 cm.

Variable	pH	CE	MO	CO	AR	ARC	LI
pH	-						
CE	0.588*	-					
MO	0.044	0.260	-				
CO	0.044	0.260	1.000**	-			
AR	-0.204	0.253	0.146	0.146	-		
ARC	-0.346	-0.625*	0.213	0.213	-0.153	-	
LI	0.298	0.417	-0.216	-0.216	-0.325	-0.838**	-

Valores en negritas indican diferencias significativas (**) $p \leq 0.01$, (*) $p \leq 0.05$.

pH = Potencial de hidrógeno; CE = Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica; CO = Carbono orgánico; AR = Arena; ARC = Arcilla; LI = Limo.

Conclusiones

La disminución de MO por los cambios de uso del suelo de matorral a otro sistema de uso tiene un amplio intervalo de variación en la profundidad más somera, y es el sistema agrícola el que tiene una mayor pérdida de este componente. El sistema ASP presenta una reaccumulación superior a 20 % de MO en la profundidad 0-5 cm, mientras que a mayor profundidad hay una pérdida por debajo de 3 %.

Los valores de la densidad aparente para los diferentes usos del suelo se ordenan en la siguiente secuencia: Pastizal > Agrícola > Matorral y la RMP es casi cuatro veces mayor en ANV y ASP con relación al AA. El pH se incrementa a mayor profundidad en los tres sistemas de uso del suelo, y la Conductividad Eléctrica solamente en el AVN y ASP en ese sentido.

Los cambios de uso de suelo influyen en las variables de materia orgánica, conductividad eléctrica, resistencia mecánica a la penetración y textura en calcisoles, de los cuales, el sistema agrícola presenta contenidos más bajos

de materia orgánica, mayor contenido de arcilla y valores menores de resistencia mecánica a la penetración y conductividad eléctrica que el resto de los sistemas de uso del suelo. De esta manera, en los suelos calcisoles, las prácticas de manejo tanto de agricultura como ganadería afectan sus propiedades físicas y químicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Nuevo León (proyecto PAICYT CT263-15) por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación. Asimismo, a los dos revisores anónimos por enriquecer este documento por hacerle observaciones críticas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Israel Cantú Silva: diseño del experimento, interpretación de los resultados y corrección del documento; Karla Estrella Díaz García: desarrollo de la investigación, estructura y diseño del manuscrito; María Inés Yáñez Díaz: análisis estadísticos, conclusiones, revisión y corrección del documento; Humberto González Rodríguez: selección de sitios y revisión del manuscrito; Rodolfo A. Martínez Soto: desarrollo de investigación en campo y análisis de laboratorio.

Referencias

- Aghasi, B., A. Jalalian and N. Honarjoo. 2010. The comparison of some soil quality indexes in different land uses of Ghareh Aghaj watershed of semirom, Isfahan, Iran. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation* 4(11): 528-532.
- Akça, E., S. Aydemir, S. Kadir, M. Eren, C. Zucca, H. Günal, F. Previtali, P. Zdruli, A. Çilek, M. Budak, A. Karakeçe, S. Kapur and E. A. FitzPatrick. 2018. Calcisols and Leptosols. *In: S. Kapur, H. Günal and E. Akça (eds). The soil of Turkey. Springer International Publishing AG. World Soils Book Series Cham. Cham, Switzerland. pp. 139-167.*
- Álvarez A., G., A. Ibáñez H., N. E. García C. y G. Almendros M. 2012. Almacenes de carbono y estabilidad de la materia orgánica del suelo en un agroecosistema cafetalero en la sierra sur de Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15:611-620.
- Baldock, J. A. and P. N. Nelson. 2000. Soil organic matter. *Handbook of Soil Science. CRC Press. Boca Raton, FL USA. pp. 25-27.*
- Cantú S., I. y M. I. Yáñez D. 2017. 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.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas (2a edición), Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. San Miguel Allende, Gto., México. 226 p.*
- Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management. *Agronomy Journal* 94: 38-47.
- Céspedes F., S. E. y E. Moreno S. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental* 2(2): 5-13.
- Celaya M., H., F. García O., J. C. Rodríguez y A. E. Castellanos V. 2015. Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (*Pennisetum ciliare* (L) Link). *Terra Latinoamericana* 33:79-93.

- Chandran, P., S. K. Ray, S. L. Durge, P. Raja, A. M. Nimkar, T. Bhattacharyal and D. K. Pal. 2009. Scope of horticultural land use system in enhancing carbon sequestration in ferruginous soils of the semi-arid tropics. *Current Science* 97:1039-1046.
- Cruz-Ruiz, E., A. Cruz-Ruiz., L. I. Aguilera-Gómez, H. T. Norman-Mondragón, R. A. Velázquez, G. Nava-Bernal, L. Dendooven y B. G. Reyes-Reyes. 2012. Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana* 30(2): 189-197.
- 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.
- Dieckow J., C. Bayer, P. C. Conceicao, J. A. Zanatta, L. Martin N., D. B. M. Milori, J. C. Salton, M. M. Macedo, J. Mielniczur and L. C. Hernani. 2009. Land use, tillage, texture and organic matter srock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *European Journal of Soil Science* 60: 240-249. doi: 10.1111/j.1365-2389.2008.01101.x.
- Fernández O., P. R., D. C. Acevedo, A. Villanueva M. y M. Uribe G. 2016. Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(35): 65-77.
- García, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 252 p.
- García O., J. A., J. G. Gastón C., J. I. Juan P. y M. A. Balderas P. 2012. Procesos de cambio en el uso de suelo de una microcuenca en el altiplano mexicano. El caso del río San José en el Estado de México. *Papeles de Geografía* 55-56:63-73.
- 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., R. G. Ramírez L. y J. I. Uvalle S. 2007. Producción de hojarasca y reciclado de nutrientes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en el Noreste de México. <http://www.iufro.org/uploads/media/t3-gonzalez-humberto-et-al.doc> (24 de junio del 2017).
- Hillel, D. 2004. *Encyclopedia of soils in the environment*. Elsevier. London, UK. Vol. 4. pp. 295-303.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). 1986. *Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León*. México, D.F., México. 171 p.
- International Union of Soil Sciences (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*. Working Group WRB Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO. Roma, Italia. 206 p.
- Johnson, M. G. 1995. *The role of soil management in sequestering soil carbon*. Soil Management and Greenhouse Effect. Lewis Publishers. Boca Raton, FL USA. pp. 351-363.
- 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.
- Mathieu, C. et F. Pieltain. 1998. *Analyse physique des sols*. Lavoisier. Paris, France. 275 p.
- Mishra, A. and S. D. Sharma. 2010. Influence of forest tree species on reclamation of semiarid sodic soils. *Soil Use and Management* 26(4):445-454.
- Miralles M., I. 2006. *Calidad de suelos en ambientes calizos mediterráneos: Parque Natural de Sierra María-Los Vélez*. Tesis de Doctorado. Facultad de Farmacia Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. Granada, España. 578 p.

- Mogollón L., M. R. 2012. Comportamiento espacial de la resistencia mecánica a la penetración y su relación con propiedades físicas del suelo en áreas con diferentes usos y ocupaciones en la sabana de Bogotá. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 125 p.
- 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.
- Rodríguez H., F. y J. Rodríguez A. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Editorial Trillas. México, D. F., México. 196 p.
- Salcedo P., E., A. L. Ypushima P., R. González C., J. F. Zamora N., R. Rodríguez M. y R. Sánchez H. 2014. Efecto de las propiedades edáficas y el contenido nutrimental foliar sobre el crecimiento de teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24): 80-90.
- Sánchez-Castillo, L., T. Kubota and I. Cantú S. 2014. Root strength characteristics of understory vegetation species for erosion 445 mitigation on forest slopes of Mexico. *International Journal of Ecology & Development* 28(2): 1-8.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002a. Inventario Nacional de Suelos. México, 2002, con base en información de Semarnat y Colegio de Postgraduados-Inegi, México. http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/03dim_ambiental/03_03_Suelos/data_suelos/CuadroIII.3.1.2_b.htm (25 de noviembre de 2017).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002b. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación. 31 de diciembre de 2002. Segunda edición. México, D F., México. 85 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental Edición 2012. México, D.F. 262 p. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf (25 de noviembre de 2017).

- Six, J., H. Bossuyt, S. D. Degryze and K. Deneff. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Research* 79: 7-31.
- Smith, P., J. I. House, M. Bustamante, J. Sobocká, 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.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 2003. *Biometry the principles and practice of statistics in biological research*. 3rd Edition. W. H. Freeman and Company. New York, NY USA. 887 p.
- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2013. SPSS Statistics. Standard released Version. 22.0. for Windows. SPSS Inc. Chicago, IL USA. n/p.
- Tada, A. 1987. Bearing capacity. *In: Physical measurement in flooded rice soils: The Japanese methodologies*. Chapter 9. International Rice Research Institute. Manila, Philippines. pp. 54-61.
- Volke S., T., J. A. Velasco T. y D. A. de la Rosa P. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F., México. 144 p.
- Yüksek T., O. Kurdoglu and F. Yüksek. 2010. The effects of land use changes and management types on surface soil properties in Kafkasör protected area in Artvin, Turkey. *Land Degradation & Development* 21: 582-590.
- Woerner, M. 1989. Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Departamento Agroforestal, Facultad Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 105 p.