



Terra Latinoamericana

ISSN: 0187-5779

ISSN: 2395-8030

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

Yáñez Díaz, María Inés; Cantú Silva, Israel; González Rodríguez, Humberto  
Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol  
Terra Latinoamericana, vol. 36, núm. 4, 2018, Octubre-Diciembre, pp. 369-379  
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57359463007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

# Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol

## Effect of land use change on chemical properties of a vertisol

María Inés Yáñez Díaz<sup>1‡</sup>, Israel Cantú Silva<sup>1</sup> y Humberto González Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional No. 85 km 145. 67700 Linares, Nuevo León, México.

<sup>‡</sup> Autora responsable (inesyd@gmail.com)

### RESUMEN

Las propiedades químicas son indicadoras de la calidad del suelo, las reservas nutritivas pueden modificarse debido a las actividades antropogénicas. Para evaluar el efecto sobre las propiedades químicas de un suelo de tipo vertisol, se analizaron los nutrientes bajo cuatro sistemas de uso de suelo: matorral espinoso tamaulipeco, pastizal, cultivo agrícola y una plantación de eucaliptos, ubicados en el noreste del estado de Nuevo León, México. Se colectaron cuatro muestras de suelo compuestas por sitio a dos profundidades (0-5 cm y 5-30 cm) analizándose pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), macronutrientes (K, Ca, Mg y Na) y micronutrientes (Cu, Mn, Fe y Zn). De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los sistemas de uso para pH, Mg ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ), Fe ( $\text{mg L}^{-1}$ ) y Cu ( $\text{mg L}^{-1}$ ) en las dos profundidades. La CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ), Zn ( $\text{mg L}^{-1}$ ) y CIC ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ), presentaron diferencias en la profundidad 0-5 cm, mientras que Ca ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ), Na ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ) y Mn ( $\text{mg L}^{-1}$ ) para la profundidad 5-30 cm. Los nutrientes P ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y K ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ) no presentaron diferencias entre los sistemas en las dos profundidades. Se realizó una correlación de Spearman entre las variables, siendo el pH la variable que presentó una relación con la mayoría de los nutrientes, debido a la competencia entre cationes y el efecto de la disponibilidad de los micronutrientes. En los sistemas agrícola y plantación de eucalipto se presentó una disminución en K, Fe, Mn, Zn y CIC, mientras que en el pastizal los contenidos de P y K aumentaron a diferencia del matorral que representa la vegetación natural.

**Palabras clave:** *pastizal, matorral, uso agrícola, plantación eucaliptos.*

### SUMMARY

Chemical properties are indicative of soil quality, and nutrient reserves can be modified by anthropogenic activities. To evaluate the effect on the chemical properties of vertisol-type soil, nutrients were analyzed under four land use systems in northeastern Nuevo Leon, Mexico: Tamaulipan thornscrub, grassland, agricultural crop and eucalyptus plantation. Four compound soil samples were collected per site at two depths (0-5 cm and 5-30 cm), and the variables pH, electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC), macronutrients (K, Ca, Mg and Na) and micronutrients (Cu, Mn, Fe and Zn) were determined. According to the results obtained, differences ( $P \leq 0.05$ ) were found between system use for pH, Mg ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ), Fe ( $\text{mg L}^{-1}$ ) and Cu ( $\text{mg L}^{-1}$ ) in the two depths. CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ), Zn ( $\text{mg L}^{-1}$ ) and CEC ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ) showed differences in depth 0-5 cm, while Ca, ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ), Na ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ) and Mn ( $\text{mg L}^{-1}$ ) for depth 5-30 cm. Nutrients P ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) and K ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ) were not different between systems at the two depths. A Spearman correlation analysis was made between variables; pH was the variable that was associated with most of the nutrients due to competition among cations and the effect of micronutrient availability. In the agricultural systems and eucalyptus plantation, there was decrease in K, Fe, Mn, Zn and CEC, whereas in the grasslands contents of P and K increased in contrast with thornscrub that represents the natural vegetation.

**Index words:** *pasture, scrub, agricultural use, eucalyptus plantation.*

#### Cita recomendada:

Yáñez Díaz, M. I., I. Cantú Silva y H. González Rodríguez. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana* 36: 369-379.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>

Recibido: diciembre de 2017. Aceptado: agosto de 2018.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 36: 369-379.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos son productos de la interacción de factores siendo el material original, clima, topografía, tiempo y organismos, quienes interactúan de manera interdependiente (Honorato, 2000). Las actividades antropogénicas han alterado su formación al manipularlo físicamente para obtener beneficios. Wu (2008), menciona que los cambios de uso de suelo son esenciales para el desarrollo económico y progreso social, pero que no viene sin costo, siendo la degradación del suelo uno de los principales problemas adjuntos.

El uso del suelo, es referido en su sentido más amplio, a las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal (Trucíos *et al.*, 2013). En México, el 24% de los suelos se encuentran altamente degradados, principalmente como resultado de la deforestación y cambio de uso de suelo (Sánchez-Castillo *et al.*, 2014). La dinámica de los ecosistemas terrestres depende de la interacción entre una serie de ciclos biogeoquímicos, particularmente de nutrientes e hidrológicos, los cuales pueden ser modificados por acciones humanas (Gol, 2009).

La calidad del suelo está relacionada con la habilidad de este para sostener la productividad biológica, su funcionalidad ecosistémica, así como mantener un balance ambiental biofísico (Navarrete *et al.*, 2001). Las propiedades físicas y químicas confieren al suelo la calidad necesaria para albergar la vida y mantener la capacidad productiva (Fernández *et al.*, 2016), reservas nutritivas de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio tienden a presentar una pérdida debido a las actividades antropogénicas (Wang *et al.*, 2015). Schoenholtz *et al.* (2000), evalúa el concepto de calidad de suelo y documenta que los indicadores químicos del suelo son similares para los suelos agrícolas y forestales, aunque existen diferencias significativas entre ellos en cuanto a su uso y evaluación.

Algunas propiedades químicas como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, así como el contenido de macro y micronutrientes son propiedades importantes para la relación suelo-planta e indicativas al efecto por el cambio de uso de suelo. Huerta *et al.* (2008) mencionan que las concentraciones de nitrógeno y fósforo disponible tienden a decrecer conforme los sistemas naturales son manejados. Los nutrientes pueden presentarse de diferentes formas en el suelo,

en la solución del mismo donde son absorbidos por las plantas, lixiviados, perdidos a la atmósfera o transformados en formas no lábiles (Rosolem y Calonego, 2013). Smith *et al.* (2016), mencionan que cambios de uso de suelo, aun los que no dan lugar a cambios en vegetación, como aumento en la intensidad de pastoreo o intensificación agrícola, pueden conducir a pérdidas de carbono y nutrientes, dependiendo de las características de las prácticas de manejo.

Entre los cambios de uso de suelo, el de especies forestales exóticas es una de las causas principales de reducción de la cobertura vegetal nativa, en especial en los matorrales del noreste de México (Foroughbakhch *et al.*, 2001). Los eucaliptos son especies de plantas leñosas de rápido crecimiento que presentan una alta productividad y buena adaptabilidad, ha sido utilizada ampliamente en muchos países (Temesgen *et al.*, 2016).

Los vertisoles ocupan el 8.3% del territorio nacional y son considerados los suelos más productivos del país (Torres *et al.*, 2016), son de gran importancia en la zona del noreste de México, ya que ocupan parte de la superficie en actividades productivas agrícolas o pecuarias. El nombre vertisol proviene del latín *vertere*, que se significa dar vuelta, refiriéndose al reciclado interno constante del material del suelo (IUSS, 2007), son suelos arcillosos, profundos, de color oscuro, con una estructura prismática, resultado de la acción de las arcillas expandibles (Woerner, 1991), son estructuralmente inestables, tienden a aglomerarse fácilmente en respuesta a los cambios de humedad y se compactan fácilmente (Ghosh *et al.*, 2011). A pesar de las limitaciones de manejo, los vertisoles se cultivan extensamente debido a su alta fertilidad química y son susceptibles a la degradación con cambios de uso de suelo (Bravo-Garza *et al.*, 2009).

En vista de lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar las propiedades químicas de un vertisol con cuatro sistemas de uso de suelo, bajo la hipótesis que cambios de uso de suelo modifican las propiedades químicas en un mismo tipo de suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El presente estudio se realizó en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), en las coordenadas geográficas 24° 47' 51.22" N y 99° 32' 29.71" O, con una

altitud de 350 m, se ubica a 8 km al sur del municipio de Linares, en el estado de Nuevo León, México (Figura 1). El clima es subtropical y semiárido con verano cálido. La temperatura media mensual es de 14.7 °C en enero y 22.3 °C en agosto, con temperaturas diarias de 45 °C durante el verano. La precipitación promedio anual es de 805 mm con una distribución bimodal (González-Rodríguez *et al.*, 2004). El tipo de suelo bajo estudio es vertisol mázico pélico (INEGI, 2006), de origen aluvio-coluvial, son suelos profundos de coloración gris oscuro, clase textural de tipo fina, arcillo-limosos con altos contenidos de montmorillonita que se contrae y se expanden notablemente en respuesta a cambios de humedad del suelo (Cantú-Silva *et al.*, 2010). Algunas propiedades físicas y químicas del suelo a profundidad de 0-30 cm son mostradas en el Cuadro 1.

### Parcelas Experimentales

Se seleccionaron cuatro sistemas de uso de suelo: a) Matorral espinoso tamaulipeco (MET); es la vegetación arbórea nativa, con dominancia de especies espinosas, donde predominan *Celtis pallida*, *Acacia rigidula*, *Randia aculeata*, *Condalia lycioides*, *C. obovata*, *Bernardia myricaefolia*, *Forestiera angustifolia*, *Karwinskia humboldtiana*, entre otras (INEGI, 2009). b) Área de pastizal; constituido por un sistema de ganadería intensiva y rotación de potreros con la especie *Dichanthium annulatum*. c) Área agrícola; campo de rotación de cultivos donde se siembra *Sorghum bicolor* y *Triticum* spp. bajo un sistema de labranza mínima.

d) Plantación de eucaliptos; con especies de *Eucalyptus camaldulensis* y *E. microteca*, esta plantación fue realizada en 1983 con fines de investigación, plantada inicialmente bajo un sistema Taungya (Cantú-Silva *et al.*, 2010).

### Muestreo

De los cuatro sistemas de uso de suelo, se colectaron cuatro muestras compuestas de suelo, con cuatro submuestras cada una, hasta obtener aproximadamente 1 kg de suelo, realizando en marzo de 2015, un muestreo aleatorio para cada sistema, tomados a profundidades de 0-5 cm y 5-30 cm. Las muestras ( $n = 32$ ) se llevaron al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales, UANL, donde se secaron a la sombra, se cribaron con malla 0.2 mm y se prepararon para su caracterización siguiendo las metodologías establecidas en el manual de “Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas” de Woerner (1989) y la NOM-021-RECNAT-2000 (2002).

### Caracterización de Suelo

La caracterización del suelo se basó en la medición de la reacción del suelo (pH) por el método AS-23 (NOM-021-RECNAT-2000, 2002), mediante la suspensión suelo:  $\text{CaCl}_2$  0.01M a una relación 1:2, medido a través de un electrodo de vidrio. La conductividad eléctrica (CE) se realizó por determinación rápida en

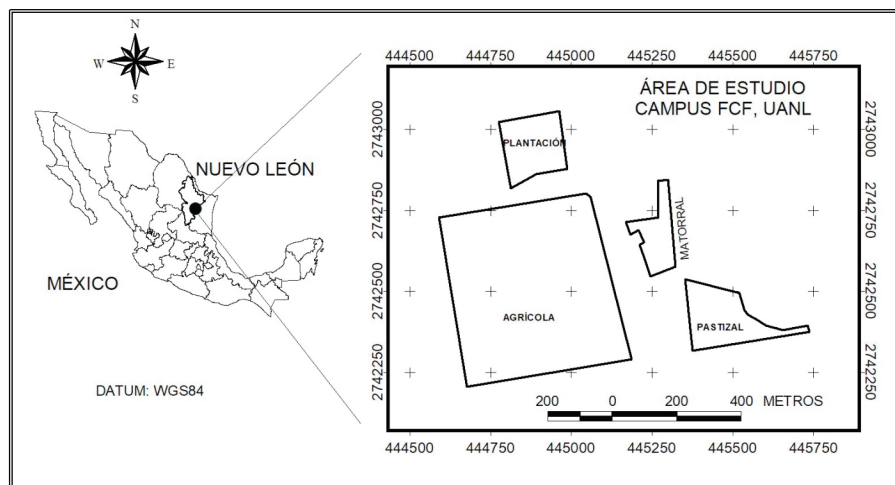


Figura 1. Localización del área de estudio.

**Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los vertisoles para cada sistema de uso de suelo a profundidad 0-30 cm.**

Propiedades del suelo	Sistemas de uso de suelo			
	Matorral	Pastizal	Plantación	Agrícola
Arena (%)	17.8	16.2	18.8	9.4
Limo (%)	41.2	38.9	40.2	40.9
Arcilla (%)	41.0	44.9	41.0	49.7
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	0.9	1.3	1.1	1.1
Materia orgánica (%)	6.1	4.6	3.5	2.3
Nitrógeno total (%)	0.42	0.26	0.23	0.15

suspensión suelo-agua 1:5 (Woerner, 1989), tanto pH y CE se midieron en un pH/conductímetro marca Corning, modelo 542. El fósforo (P) aprovechable por el método AS-10, mediante el procedimiento de Olsen y colaboradores (NOM-021-RECNAT-2000), el P es extraído del suelo con una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub> 0.5 M); se utilizó una solución reductora con ácido ascórbico y mediante el uso de un espectrofotómetro ultravioleta (Perkin-Elmer Lambda 1A, modelo C632-0002) se analizó por colorimetría a 882 nm, junto a una curva de calibración con solución patrón 5 mg L<sup>-1</sup>. Los Macronutrientes (Ca, Mg, K y Na) se analizaron por extracción con acetato de amonio pH = 7 modificado (Woerner, 1989), se prepararon curvas para cada elemento con solución supresora de cloruro de lantano (LaCl<sub>3</sub>) 50 000 mg L<sup>-1</sup> para Mg, cloruro de potasio (KCl) 50 000 mg L<sup>-1</sup> para Ca y Na, y cloruro de cesio (CsCl) 50 000 mg L<sup>-1</sup> para K. las muestras se diluyeron en relación 1:10 o la requerida al momento de leer en un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) marca VARIAN, modelo SpectrAA-200. Los Micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) por extracción con DTPA-TEA-CaCl<sub>2</sub> pH = 7.3 según Lindsay/Norvell (Woerner, 1989), se prepararon curvas de calibración para cada elemento con estándares de 25 mg L<sup>-1</sup>; las muestras se leyeron en concentrado en un EAA. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó mediante el intercambio con acetato de sodio pH = 8.2 / acetato de amonio pH = 7 según Richards modificado (Woerner, 1989).

### Análisis Estadísticos

Para probar los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas, las variables químicas del suelo fueron sometidas a pruebas de normalidad de

Shapiro-Wilk y prueba de Levene, cumpliendo estos supuestos las variables de pH, P y K. Las variables que no cumplieron estos supuestos se transformaron para inducir la distribución normal; los valores de Mn se transformaron a raíz cuadrada de la proporción, a las variables Na, Mg, Fe y Zn, se les aplicó una transformación de 1/x (Sokal y Rohlf, 2003). El análisis de varianza se utilizó para evaluar el efecto de las variables químicas por usos de suelo (factor A) y profundidad (factor B), así como su interacción (A\*B) para las variables transformadas, y se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Las variables CE, Ca, Cu y CIC, no cumplieron con los supuestos de normalidad de datos, por lo que se sometieron a un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (Sokal y Rohlf, 2003). Se realizó una correlación de Spearman para conocer la relación entre las variables. Todos los procedimientos estadísticos fueron realizados utilizando el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (por sus siglas en inglés, SPSS) versión estándar 13.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL.)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cambios de uso de suelo afectaron significativamente algunas de las variables químicas en las dos profundidades del vertisol estudiado. El análisis de varianza mostró diferencias en el factor uso de suelo (FA) para pH y en las concentraciones de potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), siendo el fósforo el único nutriente que no presentó diferencias entre los usos de suelo, mientras que para el factor de profundidad (FB) no se encontraron diferencias para los nutrientes de



Na y Mn. La interacción de los dos factores (A\*B) fue significativo solo para Zn y pH (Cuadro 2).

Con el fin de caracterizar la condición nutricional para los cuatro sitios de estudio, se presentan las pruebas de comparación de medias para la profundidad 0-5 cm (Cuadro 3) y 5-30 cm (Cuadro 4), así como la tabla de valoración correspondiente a las variables analizadas (Cuadro 5), en general los vertisoles son suelos con contenidos de arcillas mayor a 30 %, lo que indica una alta fertilidad potencial (Woerner, 1991).

La reacción del suelo (pH) presentó promedios de 7.58 a 7.74, clasificándose como medianamente alcalino. 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), que no afecta la absorción de los nutrientes analizados. En el caso de los suelos del área de estudio son ligeramente alcalinos debido a su material original donde predominan los carbonatos (Woerner, 1991). El pH presentó una relación inversa significativa con la CE esto debido a

la baja cantidad de sales presentes y con las variables de K y CIC para las dos profundidades, con Fe en la profundidad 0-5 cm y con Mg, Na y Mn para la profundidad 5-30 cm (Cuadro 7). En este sentido, Orden *et al.* (2011), encontraron una asociación positiva de pH con Ca y negativa con Mg y Fe, relacionándolo con la competencia entre los cationes por los sitios de cambio, mientras que Fernández *et al.* (2016), relacionan la acidez con la baja saturación del complejo de adsorción en bases intercambiables Ca, K y Mg.

El contenido de P no presentó diferencias significativas entre los sistemas, para la profundidad de 0-5 cm los valores fluctuaron entre 6.71 mg kg<sup>-1</sup> (matorral) y 13.90 mg kg<sup>-1</sup> (pastizal). Para la profundidad 5-30 cm, el suelo de matorral presentó los contenidos más bajos de P entre los sistemas. Esto difiere con lo reportado por Huerta *et al.* (2008), quienes mencionan que el contenido de P tiende a decrecer al pasar de ecosistemas naturales a cultivados. El alto contenido para el sistema agrícola es debido probablemente al retorno de P en los residuos de cultivos o a la aplicación

**Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables de pH, fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn).**

Fuente de variación	gl	pH	P	K	Mg	Na	Fe	Mn	Zn
			mg kg <sup>-1</sup>	- - - -	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	- - - -	- - - - -	mg L <sup>-1</sup>	- - - - -
FA <sup>a</sup>	(3, 24)	18.75**	2.70 NS	6.32 *	9.04 **	3.54*	22.67**	7.99**	3.69*
FB <sup>b</sup>	(1, 24)	14.48**	4.52*	10.93**	5.55 *	3.93 NS	16.48**	4.12 NS	4.51*
Interacción (FA*FB)	(3, 24)	3.87*	1.76 NS	0.69 NS	1.32 NS	1.66 NS	1.12 NS	0.40 NS	5.32**
Prueba de Levene <sup>c</sup>	(7, 24)	0.01	0.103	0.265	0.333	0.012	0.026	0.153	0.044
R <sup>2</sup> ajustada		0.70	0.26	0.44	0.48	0.26	0.72	0.41	0.44

Factor uso de suelo (FA)<sup>a</sup>, profundidad (FB)<sup>b</sup> e interacción uso por profundidad (FA\*FB). Prueba de homogeneidad de varianzas<sup>c</sup>. \*\*Diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) \*Diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), <sup>NS</sup>No significativo.

**Cuadro 3. Propiedades químicas en los usos de suelo estudiados para la profundidad 0-5 cm.**

Uso del suelo	pH	P	K	Mg	Na	Fe	Mn	Zn
		mg kg <sup>-1</sup>	- - - - -	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	- - - - -	- - - - -	mg L <sup>-1</sup>	- - - - -
Pastizal	7.58 a <sup>†</sup>	13.90 a	1.97 a	1.69 b	0.11 a	19.25 a	7.35 ab	2.49 a
Matorral	7.61 ab	6.71 a	1.86 a	3.08 a	0.14 a	4.25 b	10.10 b	2.64 ab
Plantación	7.59 a	6.95 a	1.62 a	2.45 ab	0.11 a	2.95 c	5.86 ab	0.61 b
Agrícola	7.71 b	6.99 a	1.06 a	2.14 ab	0.15 a	2.84 c	4.34 a	0.51 b

<sup>†</sup> Letras distintas por columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Valores medios (n = 16) de P = fósforo; K = potasio; Mg = magnesio; Na = sodio; Fe = hierro; Mn = manganeso; Zn = zinc.

**Cuadro 4. Propiedades químicas en los usos de suelo estudiados para la profundidad 5-30 cm.**

Uso del suelo	pH	P	K	Mg	Na	Fe	Mn	Zn
		mg kg <sup>-1</sup>	- - - - -	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	- - - - -	- - - - -	mg L <sup>-1</sup>	- - - - -
Pastizal	7.66 b <sup>†</sup>	6.47 a	1.37 a	1.85 ab	0.16 ab	6.05 a	5.82 a	0.53 a
Matorral	7.60 a	3.99 a	1.56 a	2.74 a	0.11 b	3.17 ab	7.32 a	0.73 a
Plantación	7.69 b	5.78 a	0.82 a	1.91 ab	0.16 ab	2.02 b	4.54 a	0.92 a
Agrícola	7.74 c	7.82 a	0.78 a	1.62 b	0.23 a	2.41 b	3.74 a	0.47 a

<sup>†</sup> Letras distintas por columna indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) Valores medios (n = 16) de P = fósforo; K = potasio; Mg = magnesio; Na = sodio; Fe = hierro; Mn = manganeso; Zn = zinc.

de insumos agrícolas, que mejora la fertilidad del suelo. Por otro lado, Castillo y Wright (2008), evaluaron la distribución y disponibilidad de fósforo para suelos histosol, cultivados y bajo transformación de uso de suelo, al sur de Florida, USA, reportando mayor contenido en el sitio de pasto que los cultivados; Mientras que, en el matorral el bajo contenido de P en el suelo indica la re-translocación desde el tejido, quedando secuestrado en hojas, ramas, tallos u otras estructuras vegetales (González-Rodríguez *et al.*, 2011). De acuerdo a los resultados obtenidos, la interpretación corresponde a clases bajo, medio y alto contenidos de P en mg kg<sup>-1</sup> de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, presentándose en la mayoría de sitios una valoración mediana (Cuadro 5).

El contenido de K presentó diferencias significativas para el factor uso de suelo y factor profundidad ( $P \leq 0.05$ ), pero no en la interacción de estos factores. Los contenidos oscilaron de 0.78 cmol kg<sup>-1</sup> a

1.97 cmol kg<sup>-1</sup>, lo cual es alto para todos los sistemas de uso de suelo. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Aghasi *et al.* (2011), quienes no encontraron variaciones en K y P en suelo de pastizales convertidos a agrícola, así como Macharia *et al.* (2011) donde los valores de P no fueron significativamente diferentes. Por otra parte, los resultados de P y K fueron menores para la profundidad 5-30 cm a diferencia de la profundidad 0-5 cm, en este sentido, Rosolem y Calonego (2013) reportan en su estudio bajo diferentes sistemas de gestión de suelo y rotación de cultivos, una tendencia a la pérdida de P en el sistema suelo-planta y una lixiviación del K en la capa superficial del suelo.

Las concentraciones de Mg presentaron diferencias significativas entre los diferentes sistemas de uso de suelo ( $P \leq 0.05$ ); los contenidos oscilaron de 1.69 a 3.08 cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup>. El sistema de matorral presentó una valoración alta para la profundidad 0-5 cm (Cuadro 5), a diferencia del pastizal que fue mayor

**Cuadro 5. Macronutrientes y micronutrientes de los suelos de los cuatro sitios de estudio.**

Uso del suelo	pH	P <sup>a</sup>	K <sup>a</sup>	Mg <sup>a</sup>	Ca <sup>a</sup>	CIC <sup>a</sup>	Mn <sup>b</sup>	Cu <sup>b</sup>	Fe <sup>b</sup>	Zn <sup>b</sup>
	cm	mg kg <sup>-1</sup>	- - - - -	cmol(+) kg <sup>-1</sup>	- - - - -	- - - - -	- - - - -	mg L <sup>-1</sup>	- - - - -	- - - - -
Pastizal	0 - 5	A	A	M	A	MA	AD	AD	AD	AD
	5 - 30	M	A	M	A	MA	AD	AD	AD	B
Matorral	0 - 5	M	A	A	A	MA	AD	B	AD	AD
	5 - 30	B	A	M	A	MA	AD	B	Ma	B
Plantación	0 - 5	M	A	M	A	A	AD	B	Ma	B
	5 - 30	M	A	M	A	A	AD	B	Ma	B
Agrícola	0 - 5	M	A	M	A	A	AD	B	Ma	B
	5 - 30	M	A	M	A	A	AD	B	Ma	B

<sup>a</sup> Clasificación de la NOM-021-RECNAT-2000 clasificación: MA = muy alto; A = alto; M = mediano; B = bajo. <sup>b</sup> Clasificación de Woerner (1989): AD = adecuado; Ma = marginal; B = bajo.

en P, pero con bajos contenidos de Mg. Jiménez *et al.* (2008), encontraron en suelos de pastizales una mejor fertilidad, comparado con un suelo de bosque, atribuyéndolo al aporte de nutrientes en el estiércol y orina del ganado y a la excesiva producción de raíces finas de los pastizales. Sin embargo, lo anterior no aplica para todas las variables, en cuanto a los nutrientes Mg y K, se encontraron contenidos similares a lo reportado en este estudio en el trabajo de Martínez-Trinidad *et al.* (2008), quienes mencionan que existe una mayor cantidad en bosques caducifolios que en pastizales. Estos dos elementos están relacionados, ya que altas concentraciones de K inducen un desbalance nutricional en suelos bajos en Mg (Molina, 2001).

El contenido de Na presentó valores de  $0.11 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  para los sitios de pastizal 0-5 cm y matorral en ambas profundidades, siendo el área agrícola la que presentó el mayor contenido. Se encontraron diferencias en los contenidos de Na entre los sistemas de uso solo para la profundidad 5-30 cm. Navarro (2000) menciona que el Na reemplaza el K adsorbido al complejo coloidal dejándolo liberado para ser liberado por la planta.

En cuanto a los micronutrientes (Fe, Mn y Zn), que son requeridos en menor cantidad, en promedio los contenidos son de 7.32, 6.91 y  $1.56 \text{ mg L}^{-1}$  para Fe, Mn y Zn, para la profundidad 0-5 cm, mientras que en la profundidad 5-30 cm disminuyeron a contenidos de 3.41, 5.36 y  $0.66 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. El sistema de pastizal presentó los mayores contenidos de Fe, mientras que el matorral fue mayor en contenidos de Mn y Zn para la profundidad 0-5 cm. Entre los sistemas de uso de suelo, el Fe presentó diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en las dos profundidades, mientras que Mn y Zn solo presentaron diferencias en la profundidad 0-5 cm. La valoración fue variada, con contenidos adecuados para Mn en los cuatro sistemas y bajos contenidos de Fe y Zn en los sistemas de plantación y agrícola. Marín *et al.* (2017), reportan valores menores para Fe y Mn en suelos orgánicos atribuyéndolo a una elevación del pH, y un aumento en Zn debido a una mayor adsorción en los coloides orgánicos, en este sentido Herencia *et al.* (2008), investigaron cambios de la fertilidad del suelo en sistemas agrícolas, mencionando que los más altos niveles de Cu, Mn, Fe y Zn, en parcelas orgánicas pueden deberse a la formación de complejos con enmiendas orgánicas que promueven el mantenimiento de estos micronutrientes en forma disuelta, aumentando la disponibilidad en el suelo.

Ramos-Reyes *et al.* (2016), mencionan que los vertisoles presentan químicamente vocación productiva, pero con dificultades de drenaje y anegamiento, recomendando el uso de pastizales para estos suelos. Por su parte, Dengiz *et al.* (2012), realizaron una investigación de las características morfológicas y analíticas de vertisoles en Turquía, encontrando resultados similares en las variables Ca, K y CIC y mencionan que la fertilidad química es comparativamente buena y en la agricultura se pueden alcanzar rendimientos óptimos si se establecen técnicas de manejo adecuadas y eficientes como la labranza cero. En este sentido, el área agrícola presenta un sistema de labranza mínima, donde los desechos de cosecha son incorporados al suelo. Buschiazzi *et al.* (1998), reportan que, a través de diferentes años de implementación de labranza de conservación a diferencia de la labranza convencional, se mejoraron las propiedades físicas, químicas y biológicas, al incorporar los residuos vegetales en regiones subhúmedas y semiáridas en las Pampas, Argentina.

La plantación de eucaliptos, presentó concentraciones similares en las variables analizadas con respecto al matorral. Temesgen *et al.* (2016), concluyen que las plantaciones de eucalipto degradan el funcionamiento del ecosistema del suelo y la sostenibilidad en comparación a las praderas, esto para plantaciones de *Eucalyptus* en Etiopía. A diferencia de lo que reportan, Mishra *et al.* (2003) donde comprobaron mejoras en las propiedades físicas y químicas después de la reforestación con especies de *Eucalyptus tereticornis* a 3, 6 y 9 años de establecerse. Chen *et al.* (2013), demuestran que la conversión forestal de plantaciones nativas a plantaciones exóticas de eucaliptos altera la estructura y función de la comunidad microbiana del suelo, impulsada por cambios en la cobertura del sotobosque y la disponibilidad de recursos del suelo. Además, de que existe una baja descomposición de la hojarasca de eucalipto debido a su alto contenido de polifenoles, las tasas de descomposición, composición química y retorno de nutrientes es menor que en el bosque (Cizungu *et al.*, 2014). Por otra parte, la producción de ácidos orgánicos generados por la descomposición de la materia orgánica, presentan un mayor potencial de lixiviación de cationes básicos (Dijkstra *et al.*, 2001).

La CE es otra variable edáfica de suma importancia, ya que se relaciona con la absorción de nutrimentos (Salcedo *et al.*, 2014). Los valores



oscilaron de  $0.09 \text{ dS m}^{-1}$  a  $0.16 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 2) encontrándose diferencias entre los sistemas ( $P \leq 0.01$ ) para la profundidad 0-5 cm (Cuadro 6). Sin embargo, los datos de todos los usos del suelo presentaron una clasificación de efectos despreciables de la salinidad, indicando que no existe restricción para el desarrollo de los cultivos, no hay presencia de sales que presenten un impacto negativo en la productividad (NOM-021-RECNAT-2000, 2002). La CE tuvo una correlación alta con el K para ambas profundidades, mientras que en la profundidad 0-5 cm fue altamente correlacionada con todos los micronutrientes (Cuadro 7), esto debido al mayor porcentaje de partículas finas de vertisoles que presentan un mayor número de poros pequeños que permiten conducir mejor la electricidad (Simón *et al.*, 2013). Por otra parte, los valores fueron menores en la profundidad 5-30 cm y no se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) para esta profundidad (Cuadro 6).

El macronutriente Ca, fue significativamente diferente solo en la profundidad de 5-30 cm de suelo, los valores fluctuaron de  $57.65$  a  $64.83 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  (Figura 3), presentando una clasificación alta para todos los sistemas, lo cual se adjudica a los altos contenidos de  $\text{CaCO}_3$  producto de la roca madre para los suelos vertisoles del área (Woerner, 1991). Castillo y Wright (2008), mencionan que, en usos de suelo agrícolas, existe una mayor redistribución de Ca del subsuelo a la superficie, lo que conduce a una mayor retención de P en la fracción ligada al Ca.

Por su parte, el contenido de Cu fue significativamente diferente ( $P \leq 0.01$ ) en ambas profundidades, presentaron un orden en su contenido de pastizal > matorral > agrícola > plantación, con

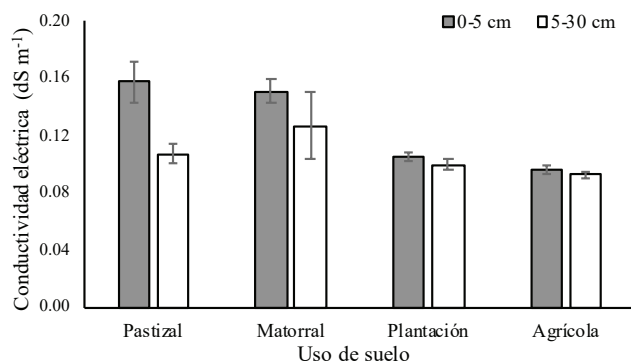


Figura 2. Conductividad eléctrica  $\pm$  error estándar ( $\text{dS m}^{-1}$ ) para los cuatro usos de suelo de 0-5 y 5-30 cm.

Cuadro 6. Prueba Kruskal-Wallis para las variables de conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca), cobre (Cu) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) para las dos profundidades estudiadas.

Profundidad	CE	Ca	Cu	CIC
cm	$\text{dS m}^{-1}$	$\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$	$\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$
0-5	12.28**	2.31 <sup>NS</sup>	12.26**	9.55*
5-30	6.94NS	10.47*	13.25**	5.36NS

Valores medios ( $n = 16$ ) \*\*Diferencias altamente significativas; \*Diferencias significativas; <sup>NS</sup> No significativo.

valores que fluctuaron de  $0.28 \text{ mg L}^{-1}$  a  $1.01 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 4). La clasificación fue adecuada solo para el sitio de pastizal y bajo en los demás sitios. Delgado y Serey (2002), mencionan que la movilidad de este microelemento, así como su retención dependen en gran medida del pH y del material parcialmente descompuesto. El valor de pH presente se encuentra en los límites de influencia sobre la disponibilidad del Cu, ya que a pH elevado del suelo ocasiona una retención de micronutrientes (Roca *et al.*, 2007) y no se encontró una correlación entre ellos (Cuadro 7).

La CIC presentó valores bajos en el suelo agrícola, siendo el de matorral (0-5 cm) el que presentó el mayor valor ( $50.08 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ) (Figura 5). La CIC, aún cuando presentó diferencias entre tratamientos de 0-5 cm profundidad del suelo (Cuadro 6), no se relacionó con pérdida de fertilidad en ninguno de los casos. Fernández *et al.* (2016), reporta valores similares con un intervalo de  $41.7$  a  $46.7 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  en su trabajo realizado en suelos

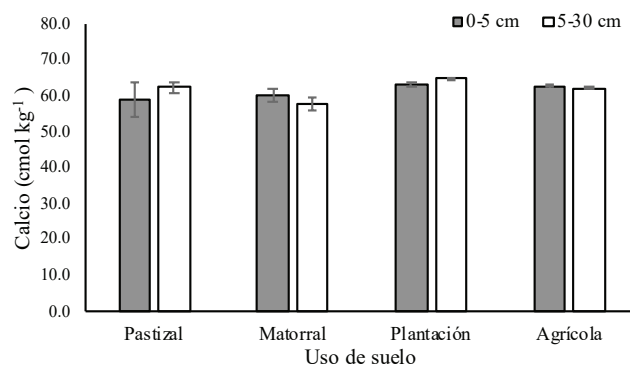


Figura 3. Contenidos de calcio  $\pm$  error estándar ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) para los cuatro usos de suelo de 0-5 y 5-30 cm.

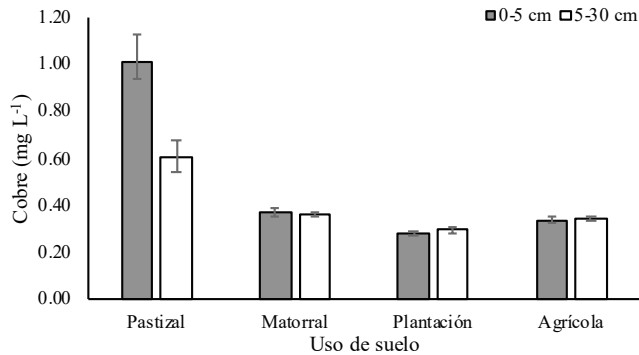


Figura 4. Contenidos de cobre  $\pm$  error estándar ( $\text{mg L}^{-1}$ ) para los cuatro usos de suelo de 0-5 y 5-30 cm.

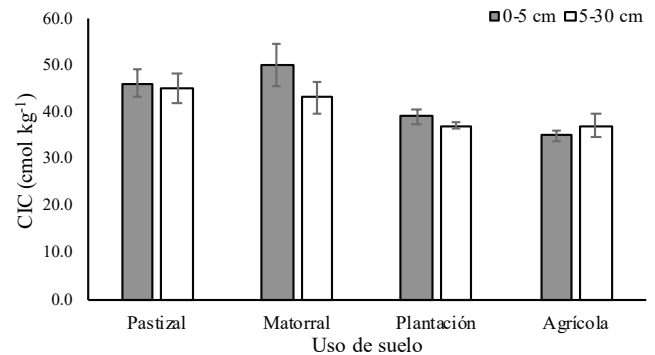


Figura 5. Valores medios de la capacidad de intercambio catiónico  $\pm$  error estándar ( $\text{mg L}^{-1}$ ) para los cuatro usos de suelo de 0-5 y 5-30 cm.

de bosque, agroforestal y monocultivo, y mencionan que la CIC depende de la textura del suelo y del contenido de la materia orgánica. En general la valoración (Cuadro 5) correspondió a categorías alta (plantación y agrícola) y muy alta (pastizal y matorral), lo que se relaciona con el contenido de materia orgánica para los sistemas de uso de suelo analizados, donde su contenido presenta un orden de matorral > pastizal > plantación > agrícola y de altos contenidos de arcilla con valores de 41 a 49.7% (Cuadro 1).

## CONCLUSIONES

Los vertisoles presentan una alta fertilidad inherente a sus altos contenidos de arcillas, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos y considerando el área del matorral como la vegetación natural testigo, los sistemas de uso de suelo estudiados presentaron diferencias en la mayoría de las propiedades químicas evaluadas, exceptuando los nutrientes fósforo (P) y potasio (K) en ambas profundidades. Magnesio (Mg) es el macronutriente que presentó diferencias entre los usos

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Spearman para las variables estudiadas ( $n = 16$ ) para la profundidad 0-5 cm (triangular superior) y 5-30 cm (triangular inferior). Valores en negritas indican significancia de  $p$  bilateral (\*)  $P \leq 0.05$  y (\*\*)  $P \leq 0.01$ .

	pH	CE	P	K	Mg	Na	Ca	CIC	Fe	Mn	Cu	Zn
pH	-	<b>-0.697*</b>	-0.139	<b>-0.552*</b>	-0.027	0.165	-0.065	<b>-0.648**</b>	<b>-0.542*</b>	-0.406	-0.366	-0.359
CE	<b>-0.689**</b>	-	0.295	<b>0.721**</b>	0.018	-0.447	-0.157	<b>0.797**</b>	<b>0.876**</b>	<b>0.671**</b>	<b>0.712**</b>	<b>0.744**</b>
P	0.355	-0.052	-	0.135	-0.376	-0.34	0.129	0.15	0.393	0.2	0.352	0.423
K	<b>-0.765**</b>	<b>0.765**</b>	-0.103	-	0.344	<b>-0.544**</b>	-0.229	<b>0.506*</b>	<b>0.647**</b>	<b>0.512*</b>	0.25	0.488
Mg	<b>-0.518*</b>	0.412	-0.119	0.488	-	-0.021	-0.207	0.171	-0.2	0.385	-0.462	-0.132
Na	<b>0.617*</b>	<b>-0.515*</b>	0.168	-0.271	-0.421	-	0.029	-0.347	-0.362	-0.318	-0.068	-0.485
Ca	0.414	0.012	0.278	-0.309	-0.218	0.085	-	-0.168	-0.343	-0.068	-0.075	-0.221
CIC	<b>-0.499*</b>	0.465	-0.031	0.309	0.132	-0.456	0.097	-	<b>0.594*</b>	<b>0.685**</b>	0.403	<b>0.621*</b>
Fe	-0.416	0.197	0.118	0.418	-0.059	-0.118	-0.215	<b>0.532*</b>	-	<b>0.550*</b>	<b>0.844**</b>	<b>0.703**</b>
Mn	<b>-0.630**</b>	<b>0.579*</b>	0.071	<b>0.721**</b>	0.459	-0.324	-0.041	0.397	0.559*	-	0.303	0.362
Cu	-0.476	0.371	0.137	<b>0.600*</b>	-0.05	-0.038	-0.353	0.406	<b>0.841**</b>	<b>0.529*</b>	-	<b>0.556*</b>
Zn	-0.19	0.097	0.166	0.088	0.465	-0.447	0.332	0.009	-0.121	0.274	-0.303	-

CE = conductividad eléctrica; P = fósforo; K = potasio; Mg = magnesio; Na = sodio; Ca = calcio; Fe = hierro; Mn = manganeso; Cu = cobre; Zn = zinc; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

de suelo, mientras que los micronutrientes presentaron diferencias entre uso de suelo y profundidad. Entre los sistemas de uso de suelo, en el área agrícola hubo una disminución en los contenidos de los nutrientes excepto P, mientras que en el sistema de pastizal los contenidos de P, K y hierro (Fe) fueron mayores. La plantación de eucalipto mejoró solo en los contenidos de zinc (Zn). De acuerdo a las clasificaciones de suelo correspondientes, solo los micronutrientes para los sistemas plantación y agrícola presentaron una disminución en sus contenidos de adecuado a bajo. Por lo que podemos concluir que cambios en el uso de la tierra provocan modificaciones en la fertilidad del suelo.

### LITERATURA CITADA

- Aghasi, B., A. Jalalian, and N. Honarjoo. 2011. The comparison of some soil quality indexes in different land uses of gharehaghaj watershed of semirom, isfahan, Iran. *Int. Schol. Scient. Res. Innovat.* 4: 528-532.
- Bravo-Garza, M. R., R. B. Bryan, and P. Voroney. 2009. Influence of wetting and drying cycles and maize residue addition on the formation of water stable aggregates in Vertisols. *Geoderma* 151: 150-156.
- Buschiazzo, D. E., J. L. Panigatti, and P. W. Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Tillage Res.* 49: 105-116.
- Cantú-Silva, I., H. González-Rodríguez, and M. V. Gómez-Meza. 2010. CO<sub>2</sub> efflux in vertisol under different land use systems. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 12: 389-403.
- Castillo, M. S. and A. L. Wright. 2008. Soil phosphorus pools for Histosols under sugarcane and pasture in the Everglades, USA. *Geoderma* 145: 130-135.
- Chen, F., H. Zheng, Z. Kai, Z. Ouyang, J. Lan, H. Li, and Q. Shi. 2013. Changes in soil microbial community structure and metabolic activity following conversion from native *Pinus massoniana* plantations to exotic *Eucalyptus* plantations. *For. Ecol. Manage.* 291: 65-72.
- Cizungu, L., J. Staelens, D. Huygens, J. Walangululu, D. Muhindo, O. Van-Cleemput, and P. Boeckx. 2014. Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and *Eucalyptus* plantation. *For. Ecol. Manage.* 326: 109-116.
- Delgado, L. y I. Serey. 2002. Distribución del cobre en ecosistemas forestales de tipo mediterráneo. *Revista Chilena de Hist. Nat.* 75: 557-565. doi: 10.4067/S0716-078X2002000300007.
- Dengiz, O., M. Saglam, F. Esra-Sarioglu, F. Saygin, and C. Atasoy. 2012. Morphological and physico-chemical characteristics and classification of Vertisol developed on Deltaic Plain. *Open J. Soil Sci.* 2: 20-27. doi.org/10.4236/ojss.2012.21004.
- Dijkstra, F. A., C. Geibe, S. Holmstrom, U. S. Lundstrom, and N. Van-Breemen. 2001. The effect of organic acids on base cation leaching from the forest floor under six North American tree species. *Eur. J. Soil Sci.* 52: 205-214.
- Fernández Ojeda, 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. *Rev. Mex. Cienc. For.* 7: 65-77.
- Foroughbakhch, F., L. A. Háuad, A. E. Céspedes, E. E. Ponce, and N. González. 2001. Evaluation of 15 indigenous and introduced species for reforestation and agroforestry in northeastern Mexico. *Agrofor. Syst.* 51: 213-221.
- Ghosh, S., P. Lockwood, H. Daniel, N. Hulugalle, K. King, and P. Kristiansen. 2011. Changes in Vertisol properties as affected by organic amendments application rates. *Soil Use Manage.* 27: 195-204. doi: 10.1111/j.1475-2743.2011.00333.x.
- Gol, C. 2009. The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. *J. Environ. Biol.* 30: 825-830.
- González-Rodríguez, H., I. Cantú-Silva, M. V. Gómez-Meza, and R. G. Ramírez-Lozano. 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, north-eastern Mexico. *J. Arid Environ.* 58: 483-503.
- González-Rodríguez, H., T. G. Domínguez-Gómez, I. Cantú-Silva, M. V. Gómez-Meza, R. G. Ramírez-Lozano, M. Pando-Moreno, and C. J. Fernández. 2011. Litterfall deposition and leaf litter nutrient return in different locations at Northeastern Mexico. *Plant Ecol.* 212: 1747-1757. doi 10.1007/s11258-011-9952-9.
- Herencia, J. F., J. C. Ruiz, S. Melero, P. A. García-Gaalavís, and C. Maqueda. 2008. A short-term comparison of organic v. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *J. Agric. Sci.* 146: 677-687. doi:10.1017/S0021859608008071.
- Honorato P., R. 2000. Manual de edafología. Alfaomega. México, D. F. ISBN 13: 9789701505311.
- Huerta Lwanga, E., J. Rodríguez O., I. Evia C., E. Montejó M., M. Cruz M. y R. García H. 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana* 26: 171-181.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2006. Conjunto de datos vectorial edafológico escala 1:250 000 serie II (continuo nacional). INEGI. México. [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial\\_seriei.aspx/](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial_seriei.aspx/). (Consulta: mayo 7, 2017).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación Escala 1:250000 Serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F.
- IUSS (Grupo de Trabajo WRB). 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Jiménez, L. S., E. T. Mezquida, M. Benito C. y A. Rubio S. 2008. Fertilidad del suelo de bosques tropicales y pastizales de uso ganadero en el sur del Ecuador. *Cuad. Soc. Española Cienc. For.* 25: 241-245.
- Macharia, P. N., C. K. K. Gachene, J. G. Mureithi, J. I. Kinyamario, W. N. Ekaya, and E. G. Thurair. 2011. The effect of introduced forage legumes on improvement of soil fertility in natural pastures of semi-arid rangelands of Kajiado District, Kenya. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14: 221-227.

- Marín, S., F. Bertsch y L. Castro. 2017. Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero. *Agron. Costarricense* 41: 27-46.
- Martínez-Trinidad, S., H. Cotler, J. D. Etchevers-Barra, V. M. Ordaz-Chaparro y F. de León-González. 2008. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana* 26: 299-307.
- Mishra, A., S. D. Sharma, and G. H. Khan. 2003. Improvement in physical and chemical properties of sodic soil by 3, 6 and 9 years old plantation of *Eucalyptus tereticornis*: Biorejuvenation of sodic soil. *For. Ecol. Manage.* 184: 115-124.
- Navarro G., S. 2000. Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Mundi-Presa. México, D. F.
- Molina, E. 2001. Manejo de suelos y fertilización de café. pp. 76-86. In: G. Meléndez y E. Molina (eds.). Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica (Memoria). CIA/UCR. San José de Costa Rica.
- Navarrete Segueda, A., G. Vela Correa, J. López Blanco y M. L. Rodríguez Gamiño. 2001. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* 80: 29-37.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F.
- Orden, L., M. E. Mandolesi, R. J. Klessling y M. M. Ron. 2011. Variabilidad espacial de fertilidad química del suelo en un diseño de bloques. *SJSS Spanish J. Soil Sci.* 1: 54-69. doi: 10.3232/SJSS.2011.V1.N1.04.
- Ramos-Reyes, R., R. Sánchez-Hernández y L. M. Gama-Campillo. 2016. Análisis de cambios de uso de suelo en el municipio costero de Comacalco, Tabasco, México. *Ecosist. Rec. Agropec.* 3: 152-160.
- Roca, N., M. S. Pazos y J. Bech. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del no argentino. *Cienc. Suelo (Argentina)* 25: 31-42.
- Rodríguez Fuentes, H. y J. Rodríguez Absi. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: Criterios de interpretación. Trillas. México, D. F.
- Rosolem, C. A. and J. C. Calonego. 2013. Phosphorus and potassium budget in the soil-plant system in crop rotations under no-till. *Soil Tillage Res.* 126: 127-133. doi.org/10.1016/j.still.2012.08.003.
- Salcedo Pérez, 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. *Rev. Mex. Cienc. For.* 5: 81-91.
- Sánchez-Castillo, L., T. Kubota, and I. Cantú-Silva. 2014. Root strength characteristics of understory vegetation species for erosion mitigation on forest slopes of Mexico. *Int. J. Ecol. Dev.* 28: 1-8.
- Schoenholtz, S. H., H. Van-Miegroet, and J. A. Burger. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. *For. Ecol. Manage.* 138: 335-356. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00423-0.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 2003. Biometry the principles and practice of statistics in biological research. W. H. Freeman and company. New York, NY, USA.
- Simón, M., N. Peralta y J. L. Costa. 2013. Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Cienc. Suelo (Argentina)* 31: 45-55.
- 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. Pugh. 2016. Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biol.* 22: 1008-1028. doi: 10.1111/gcb.13068.
- Temesgen, D., J. Gonzálo, and M. B. Turrión. 2016. Effects of short-rotation *Eucalyptus* plantations on soil quality attributes in highly acidic soils of the central highlands of Ethiopia. *Soil Use Manage.* 32: 210-219. doi: 10.1111/sum.12257.
- Torres Guerrero, C. A., M. C. Gutiérrez C., C. A. Ortiz S. y E. V. Gutiérrez C. 2016. Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana* 34: 457-466.
- Trucíos Caciaño, R., M. Rivera G., G. Delgado R., J. Estrada A. y J. Cerano P. 2013. Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Terra Latinoamericana* 31: 338-346.
- Wang, W., C. Wang, J. Sardans, Q. Min, C. Zeng, C. Tong, and J. Peñuelas. 2015. Agricultural land use decouples soil nutrient cycles in a subtropical riparian wetland in China. *Catena* 133: 171-178. doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.003.
- Wu, J. 2008. Land use changes: Economic, social, and environmental impacts. *Choices* 23: 6-10.
- Woerner, M. 1989. Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Dpto. Agroforestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México.
- Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación de matorral del noreste de México, descritos a través de ejemplos en el campus universitario de la UANL, Linares, N. L. pp. 1-9. Reporte Científico No. 22. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México.