

## Efecto de tres sistemas de producción sobre el estado de la fertilidad física del suelo

### Effect of three production systems on the physical fertility status of the soil

Jorge Luis Nuñez-Peñaloza<sup>1</sup>, David Cristóbal-Acevedo<sup>1\*</sup>, Elizabeth Hernández-Acosta<sup>1</sup>, Antonio Villanueva-Morales<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Maestría en Ciencias Forestales. México.

\*Autor para correspondencia correo-e: [cristobalacevdo@yahoo.com.mx](mailto:cristobalacevdo@yahoo.com.mx)

Fecha de recepción/Reception date: 28 de enero de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de mayo del 2022

#### Resumen

La fertilidad física del suelo es importante y los sistemas de uso del suelo pueden modificarla. Los objetivos fueron determinar la influencia de la profundidad de muestreo (PM) y de los sistemas de uso del suelo (SUS) agrícola, forestal y pastizal sobre las propiedades físicas de un suelo tropical, y establecer si el tipo de muestreo (TM) incide en el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad, así como en la significancia estadística de los efectos de los sistemas y las profundidades. Se realizó un muestreo de suelo simple (MS) y uno compuesto (MC) a las profundidades 0 a 10 cm y 10 a 20 cm. Se determinó la textura, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, estabilidad de agregados, porosidad total y conductividad hidráulica saturada. Los SUS tuvieron efectos significativos sobre la capacidad de campo y punto de marchitez permanente con el MC, y estabilidad de agregados para los MS y MC. La única variable que presentó diferencias estadísticamente significativas para las PM fue la estabilidad de agregados en ambos tipos de muestreo; estos incidieron en la normalidad y homocedasticidad de datos para densidad aparente y la porosidad total. El MC mostró un no cumplimiento de la normalidad a diferencia del MS, también en la significancia de los efectos de los SUS y las PM, así como en su interacción. El pastizal presentó los valores más convenientes de las variables físicas desde el punto de vista agronómico.

**Palabras clave:** Agrícola, fertilidad, hule, muestreo, pastizal, propiedades físicas.

#### Abstract

The physical fertility of the soil is important, and land use systems can modify it. The objectives of this study were to determine the influence of sampling depth (SD) and of the agricultural, forest and livestock land-use systems (LUS) on the physical properties of a tropical soil, and to establish whether the sampling type (ST) affects compliance with the assumptions of normality and homoscedasticity, as well as the statistical significance of the effects of systems and depth. A simple soil sampling (SS) and a composite soil sampling (CS) were performed at 0 to 10 cm and 10 to 20 cm deep. Texture, bulk density, field capacity, permanent wilting point, usable moisture, aggregate stability, total porosity and saturated hydraulic conductivity were determined. The LUS had significant effects on field capacity and on the permanent wilting point with CS, and on aggregate stability with SS and CS. The only variable that showed statistically significant differences for the various SD was aggregate stability, with both types of sampling; these impacted the normality and homoscedasticity of data for bulk density and total porosity. The CS exhibited non-compliance with normality, unlike the SS, it also influenced the significance of the effects of LUS and SD, as well as their interaction with each other. The pasture system exhibited the most convenient values for the physical variables from the agronomic point of view.

**Key words:** Agricultural, fertility, rubber, sampling, pasture, physical properties.

## Introducción

La fertilidad física del suelo es la capacidad del suelo de proporcionar condiciones físicas óptimas que apoyen la productividad, la reproducción y la calidad de planta (Abbott y Murphy, 2007); se puede determinar con el estudio de las propiedades físicas del suelo: textura, densidad aparente, capacidad de almacenamiento de agua, porosidad, estabilidad de agregados, conductividad hidráulica (Osman, 2013; Weil y Brady, 2017).

Conocer las propiedades físicas de un suelo sirve para evaluar la condición del mismo, da información sobre el cambio de uso y el impacto que tienen las prácticas agrícolas, pecuarias y forestales sobre su deterioro o funcionamiento (Estrada-Herrera *et al.*, 2017); se considera que la intensificación de la agricultura genera una reducción en la fertilidad física (Semarnat, 2015).

En el ámbito mundial se han realizado investigaciones para probar el impacto del cambio de uso de suelo sobre su fertilidad (Fernández *et al.*, 2016; Kassa *et al.*, 2017; Cantú *et al.*, 2018; Yáñez *et al.*, 2018). Algunos autores citan que propiedades físicas como la densidad aparente y la capacidad de campo son mejores en los sistemas forestales que en los agrícolas (Fernández *et al.*, 2016); otros concluyen que los suelos agrícolas exhiben un estado de baja fertilidad física por la actividad a que son sometidos (Cantú *et al.*, 2018; Yáñez *et al.*, 2018).

En algunos estudios (Fernández *et al.*, 2016; Kassa *et al.*, 2017) se emplea el análisis de varianza (ANVA) para detectar diferencias debidas al uso del suelo, sin mencionar si los datos obtenidos cumplieron los supuestos básicos de normalidad e igualdad de varianzas (homocedasticidad). La homocedasticidad es una de las propiedades más importantes para algunos de los métodos inferenciales paramétricos, pues es una condición para realizar el ANVA; se presenta en los conjuntos de datos en los cuales las variables tienen una misma varianza o muy cercana, mientras que los errores de un conjunto de datos en comparación se deben ajustar a la distribución normal (Sokal y Rohlf, 2009). Ante el no cumplimiento de estos supuestos básicos, se consideran otras alternativas de análisis para tener resultados más confiables, como las pruebas no paramétricas (Sokal y Rohlf, 2009).

El objetivo de este estudio, fue caracterizar las propiedades físicas de un suelo tropical a dos profundidades con usos agrícola, forestal y pastizal, mediante los métodos de muestreo simple y compuesto, para determinar: a) la incidencia de los métodos de muestreo sobre el cumplimiento de la normalidad de los datos y la homocedasticidad de varianzas; b) la incidencia de los métodos de muestreo en la determinación de la significancia estadística de los efectos de los sistemas de uso del suelo y de las profundidades; c) el efecto de los usos del suelo y las profundidades sobre las variables físicas; y d) cuál sistema de uso de suelo presenta los valores, desde el punto de vista agronómico, más convenientes de las variables físicas.

## **Materiales y Métodos**

## Área de estudio

El área de estudio se ubica en el ejido General Felipe Ángeles, municipio San Juan Mazatlán, Oaxaca, cuyas coordenadas geográficas son 17°20'35.98" N y 95°19'8.11" O, y una altitud de 63 m. El ejido forma parte de la provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur, subprovincia Llanura Costera Veracruzana, y su relieve se caracteriza por ser lomerío (INEGI, 2001a, 2001b, 2001c). Los tipos de rocas presentes son sedimentarias como la arenisca, conglomerado de la era Cenozoica y caliza de la era Mesozoica, también hay ígneas intrusivas como el granito de la era Paleozoica (Inegi, 2019). La precipitación anual promedio es de 2 020.3 mm año<sup>-1</sup>; la temperatura promedio oscila entre 20.3 y 30.8 °C, con una media de 25.6 °C (Krasilnikov *et al.*, 2013; Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua, 2019), su clima corresponde al cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Inegi, 2019). Los suelos dominantes son luvisoles y fluvisoles (Inegi, 2019).

La vegetación, en gran parte de la superficie del ejido, consiste principalmente en pastos introducidos como *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf cv. Insurgente, destinados a la alimentación del ganado bovino; plantaciones de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) para exportación; cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para autoconsumo; y plantaciones forestales comerciales de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müell. Arg. para la obtención de hule.

## Muestreo de suelos y análisis de laboratorio

Para ubicar los sistemas de uso de suelo en el Luvisol umbrihúmico, se realizó un recorrido y en julio de 2018 se ejecutó el muestreo en los sistemas forestal (SF): plantación de hule con 30 años de manejo (17°21'20" N, 95°20'21" O) a una distancia de plantación de 6 x 3 m (556 árboles ha<sup>-1</sup>), las prácticas de manejo consisten, principalmente, en control de plagas y enfermedades; pastizal o pecuario (SP): ganadería bovina en pastoreo extensivo con la variedad Insurgente desde hace 25 años (17°21'15" N, 95°20'22" O), el cual se deja descansar en el período de secas (febrero a mayo); y agrícola (SA): limón persa con 10 años de manejo (17°20'59" N, 95°18'53" O) con siembra manual de maíz o frijol intercalado en la temporada de lluvias (mayo a noviembre).

En cada sistema de uso de suelo, se establecieron cuatro áreas de muestreo de 20 x 20 m elegidas al azar de acuerdo con Kassa *et al.* (2017). En el SF y el SA, las áreas de muestreo se ubicaron entre las hileras de los árboles de hule y de limón persa, respectivamente. Se consideraron dos tipos de muestreo (TM): al centro de cada área se realizó un muestreo simple (MS) de suelo, con una pala recta de corte; de igual manera, en cada área se recolectaron 16 submuestras, correspondientes al muestreo compuesto (MC), de acuerdo con el procedimiento de Carretero *et al.* (2016). Los muestreos se realizaron a dos profundidades: de 0 a 10 cm (PM1) y de 10 a 20 cm (PM2). En total, se obtuvieron 48 muestras de suelo, 24 simples y 24 compuestas,

considerando las cuatro áreas, los tres sistemas y las dos profundidades de muestreo (PM).

Las muestras de suelo se transportaron en bolsas de plástico, secadas al aire sin exposición directa a los rayos del sol (Semarnat, 2002). Una vez secas las muestras, se procedió a molerlas con un mazo de madera y tamizarlas a través de una malla con abertura de 2 mm (Hernández *et al.*, 2017).

Las propiedades físicas evaluadas fueron: densidad aparente (*DA*) por el método del terrón parafinado (Blake, 1965), textura por el método de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986), capacidad de campo (*CC*) con la olla de presión, y punto de marchitez permanente (*PMP*) con la membrana de presión; las determinaciones anteriores se hicieron siguiendo la NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2002). La estabilidad de agregados (*EA*) por el método de Yoder, con un tamiz de abertura 0.25 mm (Amézketa, 1999), conductividad hidráulica saturada (*Ks*) mediante el permeámetro de carga constante en muestras saturadas (Klute y Dirksen, 1986), humedad aprovechable (*HA*) como la diferencia entre *CC* y *PMP*, además de la porosidad total (*PT*) en función de la *DA* y la densidad real (Weil y Brady, 2017).

## **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó con un diseño factorial 3 x 2, tres sistemas de uso del suelo por dos profundidades de muestreo, con cuatro repeticiones. Se aplicaron pruebas de normalidad de *Shapiro-Wilk* (*S-W*) ( $P < 0.05$ ) y de homocedasticidad de

varianzas de *Levene* ( $L_t$ ) ( $P < 0.05$ ) (Zar, 2014). Posteriormente, se hizo un análisis de varianza (ANVA) de dos vías con replicaciones iguales (Zar, 2014). La regla de decisión para la significancia de los factores fue:  $0.01 < P < 0.05$  (\*, moderada);  $0.001 < P < 0.01$  (\*\*, fuerte); y  $P < 0.001$  (\*\*\*, muy fuerte). Las variables que no cumplieron los supuestos de normalidad de datos o de homocedasticidad de varianzas, se analizaron mediante una prueba no paramétrica de Transformación de Rango Alineado (*ART*, por sus siglas en Inglés) que "alinea" los datos antes de aplicar intervalos promediados, después de lo cual se pueden utilizar los procedimientos del ANVA comunes (Mangiafico, 2016).

Se hicieron comparaciones de medias de *Tukey* ( $\alpha = 0.05$ ) (Zar, 2014) para determinar diferencias significativas por sistemas de uso de suelo, profundidades de muestreo y su interacción. Cuando hubo diferencia significativa en la interacción sistemas y profundidades en el *ART ANVA*, los valores medios correspondieron al promedio de la variable en las cuatro áreas de muestreo de cada sistema, y las comparaciones se realizaron con la prueba de comparación por pares. Para el análisis estadístico se empleó el *software RStudio* para R 3.6.1, (R Core Team, 2018), así como el paquete *Microsoft Excel*® (Microsoft, 2018). Se compararon los valores medios de las variables físicas de los sistemas de uso del suelo y las profundidades mediante el criterio de "mayor es mejor", en el cual se agruparon aquellas propiedades que conviene tengan un valor alto (*PT, CC, PMP, HA, EA* y *Ks*) y de "menor es mejor", si lo más conveniente es que esas propiedades presenten un valor bajo (*DA*) (Hernández-González *et al.*, 2018).

## **Resultados y Discusión**

Las clases texturales obtenidas con el Triángulo de Texturas (Weil y Brady, 2017) y los valores medios en porcentaje de arena, limo y arcilla de los tres sistemas de suelo analizados para el muestreo simple (MS), fueron franco arcillo arenosa (SF), franca (SA) y franca (SP); para el muestreo compuesto (MC) fueron franco arcillo arenosa, franco arcillosa y franco arcillo arenosa, respectivamente. Las texturas determinadas en función de los valores medios de las profundidades (PM1 y PM2) para el MS fueron franca y franco arcillosa, respectivamente; para el MC resultaron franca y franco arcillo arenosa, respectivamente. De acuerdo con lo anterior, desde el punto de vista textural, los suelos son homogéneos, pues en todos los casos la textura fue franca. Cruz-Ruiz *et al.* (2012), en tres sistemas de uso de suelo (SUS) en México, no obtuvieron diferencias en la textura atribuidas al SUS, lo que concuerda con lo registrado en este estudio.

### **Normalidad y homocedasticidad**

En el Cuadro 1 se muestra que para el muestreo simple todas las variables cumplieron con el supuesto de normalidad, a excepción de la conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ). Para el muestreo compuesto, la densidad aparente ( $DA$ ),

porosidad total (*PT*) y conductividad hidráulica saturada (*Ks*), no lo cumplieron. Todas las variables con los tipos de muestreo cumplieron el supuesto de homocedasticidad, a excepción de *Ks*. Santiago-Mejía *et al.* (2018) señalan que la *Ks* es una propiedad física que presenta alta variabilidad espacial. Para las variables que no cumplieron la normalidad o la homocedasticidad, el efecto de los factores sobre estas se determinó mediante la prueba *ART ANVA* (Mangiafico, 2016).

**Cuadro 1.** Pruebas de normalidad de *Shapiro–Wilk* (*S-W*) y homocedasticidad de *Levene* (*L<sub>t</sub>*) para las variables físicas evaluadas.

Prueba	TM	DA Mg m <sup>-3</sup>	PT %	CC %	PMP %	HA %	EA %	Ks cm h <sup>-1</sup>
<i>S-W</i>	MS	0.98 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>	0.52 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	***
	MC	**	*	0.15 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.72 <sup>ns</sup>	**
<i>L<sub>t</sub></i>	MS	0.95 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	0.98 <sup>ns</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	*
	MC	0.52 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.77 <sup>ns</sup>	*

Significancia: \* = Moderada ( $P < 0.05$ ); \*\* = Fuerte ( $P < 0.01$ ); \*\*\* = Muy fuerte ( $P < 0.001$ ); <sup>ns</sup> = No significativo; TM = Tipo de muestra; MS = Muestra simple; MC = Muestra compuesta; DA = Densidad aparente; PT = Porosidad total; CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permantne; HA = Humedad aprovechable; EA = Estabilidad de agregados; Ks = Conductividad hidráulica saturada. Valor mayor de 0.05 denota normalidad u homocedasticidad de la variable.

## **ART ANVA y ANVA**

En el Cuadro 2 se aprecia que con *ART ANVA*, la variable *DA* con el muestreo compuesto, resultó con diferencia significativa solo para la interacción sistemas con profundidad. Con base en lo anterior, las pruebas de comparación de medias (*post-hoc*) se realizaron comparando los valores medios obtenidos en los tres niveles del factor sistemas y los dos niveles del factor profundidad, para registrar posibles diferencias significativas entre pares de medias. Para *Ks* con el muestreo simple, los resultados indicaron que para el factor profundidad al igual que para la interacción sistemas con profundidad, se verificaron diferencias significativas.

**Cuadro 2.** *ART ANVA* y *ANVA* para el efecto de los sistemas de uso de suelo, las profundidades y su interacción.

<b>FV</b>	<b>TM</b>	<b>DA Mg m<sup>-3</sup></b>	<b>PT %</b>	<b>CC %</b>	<b>PMP %</b>	<b>HA %</b>	<b>EA %</b>	<b>Ks cm h<sup>-1</sup></b>
SUS	MS	*	*	0.20 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>ns</sup>	*	0.15 <sup>ns</sup>
	MC	0.13 <sup>ns</sup>	0.40 <sup>ns</sup>	**	***	0.57 <sup>ns</sup>	***	0.06 <sup>ns</sup>
PM	MS	0.45 <sup>ns</sup>	0.95 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.37 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	**	**
	MC	0.06 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.65 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	**	0.92 <sup>ns</sup>
SUS*PM	MS	*	**	0.25 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>ns</sup>	*
	MC	*	0.25 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	0.91 <sup>ns</sup>	*	0.84 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>

\* = Diferencias moderadamente significativas ( $P < 0.05$ ); \*\* = Diferencias fuertemente significativas ( $P < 0.01$ ); \*\*\* = Diferencias muy fuertemente significativas ( $P < 0.001$ );

<sup>ns</sup> = No significativo; SUS = Sistema de uso de suelo; PM = Profundidad de muestreo;

TM = tipo de muestreo; MS = Muestra simple; MC = Muestra compuesta; *DA* = Densidad aparente; *PT* = Porosidad total; *CC* = Capacidad de campo; *PMP* = Punto de

marchitez permanente; *HA* = Humedad aprovechable; *EA* = Estabilidad de agregados;  
*Ks* = Conductividad hidráulica saturada.

En el caso de las variables analizadas bajo el *ANVA*, únicamente se obtuvieron diferencias significativas para la densidad aparente con el muestreo simple para el factor sistemas, al igual que para la interacción de los sistemas con las profundidades. También hubo diferencias significativas en el caso de la porosidad total en el muestreo simple para el factor sistemas, al igual que para la interacción. Asimismo, se registraron diferencias significativas para la capacidad de campo en el muestreo compuesto para el factor sistemas; mientras que, para el punto de marchitez permanente, las diferencias significativas fueron con el muestreo compuesto para el factor sistemas de uso del suelo. Finalmente, cabe indicar que hubo significancia en la interacción sistemas con profundidades para la humedad aprovechable en el muestreo compuesto, así también para la estabilidad de agregados para el factor sistemas, al igual que con el factor profundidades, en ambos casos con los dos tipos de muestreo.

En el Cuadro 3, para la densidad aparente (*DA*) se observa que la prueba de comparaciones por pares evidenció diferencias significativas en las medias de los sistemas agrícola y pastizal en la *PM1*, con 1.49 y 1.37  $\text{Mg m}^{-3}$  (*DA*), respectivamente; y en las medias del sistema forestal y del pastizal en la misma profundidad, con 1.51 y 1.37  $\text{Mg m}^{-3}$  (*DA*), respectivamente. Para la *PT* con el muestreo compuesto, la prueba *ART ANVA* no registró diferencias significativas para los factores estudiados.

**Cuadro 3.** Prueba de comparación de medias de los parámetros físicos del suelo para la interacción SUS\*PM, indicando con letras en forma de exponente las medias con diferencia significativa.

TM	PM	SUS	DA Mg m <sup>-3</sup>	PT %	CC %	PMP %	HA %	EA %	Ks cm h <sup>-1</sup>
MS	PM1	SA	1.41	43.3	26.5	14.7	11.8	79.4	2.11 <sup>acd</sup>
		SF	1.40	44.5	25.5	13.7	11.8	84.2	3.23
		SP	1.40	43.5	33.3	17.0	16.3	86.7	15.89
	PM2	SA	1.30 <sup>A</sup>	49.5 <sup>A</sup>	28.0	14.4	13.6	71.3	3.04 <sup>bd</sup>
		SF	1.52 <sup>B</sup>	40.0 <sup>B</sup>	24.7	12.3	12.5	78.0	1.96 <sup>c</sup>
		SP	1.46	42.0 <sup>B</sup>	26.4	15.2	11.2	77.7	3.95 <sup>d</sup>
MC	PM1	SA	1.49 <sup>a</sup>	40.3	24.9	14.3	10.7	70.1	2.21
		SF	1.51 <sup>a</sup>	40.5	24.3	12.9	11.3	83.4	8.75
		SP	1.37 <sup>b</sup>	45.0	31.4	17.2	14.2 <sup>A</sup>	87.0	4.07
	PM2	SA	1.52	39.5	26.1	14.0	12.1	61.0	3.56
		SF	1.53	41.3	23.3	12.1	11.2	77.2	8.58
		SP	1.56	39.0	27.2	17.2	10.0 <sup>B</sup>	76.7	3.84

TM = Tipo de muestreo; MS = Muestra simple; MC = Muestra compuesta; PM = Profundidad de muestreo; SUS = Sistema de uso de suelo; SA = Sistema agrícola; SF = Sistema forestal; SP = Sistema pastizal o pecuario; DA = Densidad aparente; PT = Porosidad total; CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permanente; HA = Humedad aprovechable; EA = Estabilidad de agregados; Ks = Conductividad hidráulica saturada. Valores medios con letras mayúsculas diferentes por columna indican diferencia significativa con el ANVA (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), medias con letras minúsculas diferentes por columna indican diferencia significativa para ART ANVA (comparación por pares,  $\alpha=0.05$ ).

Para  $K_s$  en el caso de la significancia en la interacción sistemas con profundidades (SUS\*PM), sería complicado examinar los efectos del factor por separado debido a que su efecto no es aditivo, es decir, el efecto de los sistemas agrícola, pastizal o forestal sobre la  $K_s$  parece no ser el mismo a lo largo de las dos profundidades de muestreo (Lyman y Longnecker, 2001). La prueba de comparaciones por pares evidenció diferencias significativas en las medias del sistema agrícola entre la profundidad superficial (PM1) y la subsuperficial (PM2) con 2.11 y 3.04 cm h<sup>-1</sup>, respectivamente, así como en las medias del sistema agrícola y del pastizal con 3.04 y 3.95 cm h<sup>-1</sup>, también entre las medias del sistema forestal y del pastizal (SP) para la profundidad subsuperficial (PM2), con 1.96 y 3.95 cm h<sup>-1</sup>, respectivamente. En el muestreo compuesto, los resultados del *ART ANVA* no indicaron diferencias significativas para los factores o su interacción (Cuadro 3).

En el Cuadro 3 se observa que las variables *DA*, *PT* y *HA* presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con la prueba de *Tukey*. Para la *DA*, el muestreo simple evidenció diferencias significativas en las medias del sistema forestal (SF) y del agrícola (SA) en la profundidad subsuperficial (PM2), con 1.52 y 1.30 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. Para la *PT* en el muestro simple, se obtuvieron diferencias significativas entre las medias del SA con 49.5 % y del SF con 40.0 %, así como entre las medias del SA con 49.5 % y del SP con 42.0 % para la PM2. Para *HA*, la prueba de *Tukey* evidenció diferencias significativas en las medias del SP a la PM1 con la media del SP a la PM2, con 14.2 % y 10.0 %, respectivamente. Para *CC* y *PMP* con el *MC*, la prueba de *Tukey* ( $P < 0.05$ ) mostró que el SP tuvo un valor estadísticamente superior a los otros dos sistemas (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Valores medios y prueba de *Tukey* para el efecto de los sistemas de uso del suelo, las profundidades de muestreo y su interacción.

Muestra	Factor		<i>DA</i> Mg m <sup>-3</sup>	<i>PT</i> %	<i>CC</i> %	<i>PMP</i> %	<i>HA</i> %	<i>EA</i> %	<i>K<sub>s</sub></i> cm h <sup>-1</sup>
MS	SUS	SA	1.35	46.4	27.2 <sup>a</sup>	14.6 <sup>a</sup>	12.7 <sup>a</sup>	75.4 <sup>a</sup>	2.58
		SF	1.46	42.3	25.1 <sup>a</sup>	13.0 <sup>a</sup>	12.2 <sup>a</sup>	81.1 <sup>ab</sup>	2.59
		SP	1.43	42.8	29.8 <sup>a</sup>	16.1 <sup>a</sup>	13.7 <sup>a</sup>	82.2 <sup>b</sup>	9.92
	PM	PM1	1.40	43.8	28.4 <sup>a</sup>	15.1 <sup>a</sup>	13.3 <sup>a</sup>	83.5 <sup>a</sup>	7.08
		PM2	1.42	43.8	26.3 <sup>a</sup>	13.9 <sup>a</sup>	12.4 <sup>a</sup>	75.7 <sup>b</sup>	2.98
MC	SUS	SA	1.50	39.9 <sup>a</sup>	25.5 <sup>a</sup>	14.1 <sup>a</sup>	11.4	65.5 <sup>a</sup>	2.89 <sup>a</sup>
		SF	1.52	40.9 <sup>a</sup>	23.8 <sup>a</sup>	12.5 <sup>a</sup>	11.3	80.3 <sup>b</sup>	8.67 <sup>a</sup>
		SP	1.47	42.0 <sup>a</sup>	29.3 <sup>b</sup>	17.2 <sup>b</sup>	12.1	81.9 <sup>b</sup>	3.96 <sup>a</sup>
	PM	PM1	1.46	41.9 <sup>a</sup>	26.9 <sup>a</sup>	14.8 <sup>a</sup>	12.1	80.2 <sup>a</sup>	5.01 <sup>a</sup>
		PM2	1.53	39.9 <sup>a</sup>	25.5 <sup>a</sup>	14.4 <sup>a</sup>	11.1	71.6 <sup>b</sup>	5.33 <sup>a</sup>
MS	SUS*PM	p-value	0.02	<0.01	ns	ns	ns	ns	0.04
MC	SUS*PM	p-value	0.04	ns	ns	ns	0.01	ns	ns

MS = Muestra simple; MC = Muestra compuesta; SUS = Sistemas de uso de suelo; PM = Profundidades de muestreo; SA = Sistema agrícola; SF = Sistema forestal; SP = Sistema pastizal; *DA* = Densidad aparente; *PT* = Porosidad total; *CC* = Capacidad de campo; *PMP* = Punto de marchitez permanente; *HA* = Humedad aprovechable; *EA* = Estabilidad de agregados; *K<sub>s</sub>* = Conductividad hidráulica saturada. Medias con diferente letra en los exponentes son diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ).

Para la estabilidad de agregados (*EA*), la prueba de *Tukey* con el MS resultó significativamente menor en el SA respecto del SP, pero igual que el SF. La prueba

de *Tukey* en el MC, mostró que la *EA* fue significativamente menor en el SA respecto a los otros dos sistemas. La *EA* en la PM1 fue significativamente mayor que en la PM2 para ambos tipos de muestreo (Cuadro 4).

### Valores medios

En el Cuadro 4 se observa que los valores medios de la densidad aparente (*DA*) en los tres sistemas de uso del suelo y las dos profundidades, fueron muy semejantes en ambos métodos de muestreo (1.4 y 1.5 Mg m<sup>-3</sup>). Soleimani *et al.* (2019) citan valores de *DA* mayores en suelos con cobertura de bosque natural y en los dedicados a la agricultura al comparar diversos suelos sometidos a distintos manejos; la misma condición se registra a medida que aumenta la profundidad. Estos resultados no son congruentes con los valores obtenidos para *DA* en la presente investigación en la que se obtuvo un comportamiento homogéneo; por lo que no se puede determinar cuál sistema de uso del suelo es el mejor.

Para la porosidad total (*PT*), los valores medios en los tres sistemas y las dos profundidades, fueron superiores con el muestreo simple en comparación con el compuesto. Los valores medios de la *PT* de los SF, SA y SP son menores a 50 %, este es un valor típico de suelos cultivados (Weil y Brady, 2017). Asimismo, los valores del presente estudio son inferiores a los registrados para suelos con texturas finas y valores altos de materia orgánica. Haghghi *et al.* (2010) indican

diferencias significativas para la *PT* en dos profundidades cuando comparan suelos con manejo agrícola y pastizal, a este último corresponden los mayores, lo que atribuyen a la gran proporción de raíces presentes en los pastizales; sin embargo, y tal y como lo señalan Volverás-Mambuscay *et al.* (2016), los implementos agrícolas como el arado, aumentan la porosidad total al romper la estructura del suelo, razón por la cual se obtienen valores superiores en el corto plazo, como en este estudio. Al paso del tiempo, la *PT* tiende a disminuir y sus registros son mucho más bajos que los existentes en sistemas con vegetación natural, como lo advierten Sustaita-Rivera *et al.* (2000).

Dado que una alta porosidad propicia más entrada de agua al sistema, con el muestreo simple, el agrícola resultó ser el mejor, seguido del forestal y el pastizal con valores similares. En el caso del muestreo compuesto, el sistema sobresaliente fue el pastizal, seguido del forestal y por último, el agrícola.

Para la capacidad de campo (*CC*), en general, los valores medios en los tres sistemas y las dos profundidades fueron mayores con el MS en comparación con el MC; la diferencia más alta entre los valores fue de alrededor de cinco puntos porcentuales. De manera general, se tuvieron suelos heterogéneos en cuanto a *CC*, con un menor valor en el SF debido al contenido de arena que fue superior. Hillel (1998) documenta que la capacidad de campo tiende a ser menor en suelos con una mayor proporción de arenas, con arcillas como la caolinita y con bajos contenidos de materia orgánica. Debido a que es mejor un valor alto de *CC*, ya que favorece una mayor humedad aprovechable en el sistema. Al respecto del presente estudio, y con los dos métodos de muestreo probados (MS y MC), el mejor sistema fue el de pastizal, seguido del agrícola y finalmente el forestal.

Para el punto de marchitez permanente (*PMP*), en general, los valores medios en los tres sistemas de uso del suelo y las dos PM, fueron más semejantes con el MS en comparación con el MC, aunque la diferencia mayor fue de aproximadamente cinco puntos porcentuales. En relación al *PMP* se observaron suelos homogéneos, con una desviación en el pastizal, cuyo valor fue más alto; al forestal le correspondió el más bajo debido al menor contenido de arcilla. De acuerdo con Weil y Brady (2017), el *PMP* se incrementa a medida que se tiene más arcillas en el suelo dado que el valor alto de *PMP* propicia una mayor fuerza de retención de agua en el sistema, tanto para el MS como para el MC. El mejor sistema fue el SP, seguido del SA y por último el SF.

En el caso de la humedad aprovechable (*HA*) se observó, en general, que los valores medios en los tres sistemas y las dos PM fueron mayores con el MS, aunque la máxima diferencia entre los valores fue de aproximadamente un punto porcentual. En cuanto a la *HA*, los suelos resultaron homogéneos, con un menor valor para el SF debido a un más bajo contenido de arcilla y uno más alto de arena. Ortiz (2010) y Kirkham (2014) indican que las concentraciones de materia orgánica y la textura del suelo, tienen un efecto muy importante en la disponibilidad del agua, ya que un valor alto de *HA* favorece una mayor humedad disponible para las plantas. El mejor sistema fue el SP, seguido del SA y por último el SF; lo que corresponde con lo señalado en párrafos anteriores para los valores de *CC* y *PMP*.

Respecto a la estabilidad de los agregados (*EA*), los registros medios en los tres sistemas de uso del suelo y las dos PM fueron superiores con el MS; la diferencia mayor entre los valores fue de más de 16 puntos porcentuales. De manera general, se tienen suelos heterogéneos en cuanto a la *EA*, con una desviación en el SA debido a las prácticas mecánicas que se realizan en dicho sistema. De acuerdo con

Sustaita-Rivera *et al.* (2000), las prácticas mecanizadas provocan la desintegración de los agregados, lo cual causa una pérdida más grande de la materia orgánica que repercute en la agregación misma. Por su parte, Weil y Brady (2017) registran que en regiones muy húmedas, valores altos de *EA* pueden deberse a la acción de componentes inorgánicos (como los óxidos de hierro) que favorecen la agregación de las partículas del suelo. Abiven *et al.* (2009) citan que la textura, la arcilla, los cationes intercambiables, los óxidos de aluminio y de hierro, y la materia orgánica del suelo, son las principales propiedades que influyen en la *EA*. Dado que una alta *EA* corresponde a una menor dispersión de los agregados, y por tanto, a una mayor entrada de agua al sistema, en los dos tipos de muestreo analizados, el mejor sistema fue el SP, seguido del SF y por último el SA.

Respecto a la conductividad hidráulica saturada (*Ks*), en general, los valores medios en los tres sistemas de uso del suelo y las dos profundidades de muestreo (PM), fueron mayores cuando se aplicó el muestreo; la diferencia más alta entre los dos tipos de muestreo fue superior a siete puntos porcentuales. Los suelos fueron heterogéneos en cuanto a *Ks* con una desviación en los sistemas de pastizal y forestal para el MS y el MC, respectivamente. Lo anterior concuerda con los valores obtenidos en la *EA*, ya que fueron mejores en estos sistemas y sugieren una mejor estabilidad estructural.

Figueroa *et al.* (2018) indican valores de *Ks* muy bajos en suelos agrícolas, y de moderadamente altos a bajos en pastizales, resultados que coinciden con los del presente estudio. Kumar *et al.* (2017), consignan registros para la *Ks* mayores para suelos con manejo agrícola en relación con los de uso forestal; en el caso de la investigación que se documenta, ambos sistemas de uso de suelo tuvieron valores de *Ks* muy parecidos. Además, Kumar *et al.* (2017) citan que las variables densidad aparente y los porcentajes de arcillas y arenas, son responsables de las diferencias

en la  $K_s$  observadas en sistemas de uso del suelo distintos, debido a que una alta  $K_s$  propicia más entrada de agua al sistema y un escurrimiento menor. Con el muestreo simple, el mejor sistema fue el pastizal, seguido del forestal y por último el agrícola, y para el muestreo compuesto, el sistema sobresaliente resultó ser el SF, enseguida el SP y el SA.

## Conclusiones

La utilización de muestras simples y compuestas del suelo, no incide sobre el cumplimiento de los supuestos de normalidad de datos y homocedasticidad de varianzas de las variables físicas, a excepción de la densidad aparente y porosidad total, cuyos resultados son contrastantes. Los métodos de muestreo influyen en la determinación de la significancia de los efectos de los sistemas de uso del suelo y de las profundidades, pues afectan los valores de las variables estudiadas, así como los efectos de interacción.

Los sistemas de uso del suelo forestal, agrícola y pastizal, tienen efectos estadísticos significativos sobre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente cuando se usa el muestreo compuesto, y la estabilidad de agregados para los dos tipos de muestreo. Esta última es la única variable con diferencias estadísticamente significativas para las dos profundidades de muestreo, cuyo valor

medio mayor corresponde a la profundidad superficial en los dos tipos de muestreo. El sistema pastizal, en comparación con los sistemas agrícola y forestal, presenta los registros más convenientes de las variables físicas del suelo evaluadas, desde el punto de vista agronómico.

### **Agradecimientos**

Jorge Luis Núñez Peñaloza y David Cristóbal Acevedo agradecen al Conacyt, México, por la beca otorgada al primer autor. Los autores reconocen el apoyo logístico y de infraestructura para la realización de este trabajo a la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Suelos. Asimismo, expresan su agradecimiento al Programa de Maestría en Ciencias Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

### **Conflictos de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

Jorge Luis Núñez-Peñaloza: muestreo, preparación de muestras, sistematización de datos y discusión de resultados; David Cristóbal-Acevedo: revisión de resultados de

los análisis de laboratorio; Elizabeth Hernández-Acosta: redacción y discusión de resultados; y Antonio Villanueva-Morales: análisis estadístico.

## Referencias

- Abbott, L. K. and D. V. Murphy. 2007. What is soil biological fertility?. In: Abbot, L. K. y D. V. Murphy (eds.). Soil Biological Fertility. Springer. Dordrecht, Netherlands. pp. 1-15.
- Abiven, S., S. Menasseri and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability-A literature analysis. Soil Biology and Biochemistry 41(1):1-12. Doi: 10.1016/j.soilbio.2008.09.015.
- Amézketa, E. 1999. Soil Aggregate Stability: A Review. Journal of Sustainable Agriculture 14(2-3):83-151. Doi: 10.1300/J064v14n02\_08.
- Blake, G. R. 1965. Bulk Density. In: Black, C. A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI, USA. pp. 374-390.
- Cantú S., I., K. E. Díaz G., M. I. Yáñez D., H. González R. y R. A. Martínez S. 2018. Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(49):59-86. Doi: 10.29298/rmcf.v9i49.153.
- Carretero, R., P. A. Marasas, E. Souza y A. Rocha. 2016. Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos. Informaciones Agronómicas de

Hispanoamérica 21(15): 1–11.

[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/7712B35AB30A440303257F880046ABB5/\\$FILE/AA%2015.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/7712B35AB30A440303257F880046ABB5/$FILE/AA%2015.pdf). (18 de febrero de 2019).

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. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v30n2/2395-8030-tl-30-02-00189.pdf>. (15 de febrero de 2019).

Estrada-Herrera, I. R., C. Hidalgo-Moreno, R. Guzmán-Plazola, J. J. Almaraz S., H. Navarro-Garza y J. D. Etchevers-Barra. 2017. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia* 51(8):813–831. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1329/1329>. (18 de febrero de 2019).

Fernández O., P. R., D. Cristóbal A., 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. Doi: 10.29298/rmcf.v7i35.75.

Figueroa J., M. L., M. R. Martínez M., C. A. Ortiz S. y D. Fernández R. 2018. Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana*, 36(3):287–299. Doi: [doi.org/10.28940/terra.v36i3.259](https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.259).

Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI, USA. pp. 383-411.

Haghighi, F., M. Gorji y M. Shorafa. 2010. A study of the effects of land use changes

on soil physical properties and organic matter. *Land Degradation and Development* 21(5):496–502. Doi: 10.1002/ldr.999.

Hernández O., J. O., M. del C. Gutiérrez C., C. A. Ortiz S., P. Sánchez G. y E. Ángeles C. 2017. Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla. *Terra Latinoamericana* 35(2):179–189. Doi: 10.28940/terra.v35i2.201.

Hernández-González, D. E., D. J. Muñoz-Iniestra, F. López-Galindo y M. M. Hernández-Moreno. 2018. Impacto del uso de la tierra en la calidad del suelo en una zona semiárida del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *BIOCyT Biología, Ciencia y Tecnología* 11(43):792–807. Doi: 10.22201/fesi.20072082.2018.11.65833.

Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics*. Academic Press. San Diego, CA, USA. 771 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2019. *Mapa digital de México V6 3.0*. <http://www.gaia.inegi.org.mx/> (18 de febrero de 2019).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001a. *Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional escala 1:1 000 000 serie I. Provincias fisiográficas*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575> (18 de febrero de 2019).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001b. *Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo nacional escala 1:1 000 000 serie I. Sistema topofomas*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267582>. (18 de febrero de 2019).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001c. *Conjunto de*

*datos vectoriales fisiográficos. Continuo nacional escala 1:1 000 000 serie I. Subprovincias fisiográficas.*

[www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267599](http://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267599) (18 de febrero de 2019).

Kassa, H., S. Dondeyne, J. Poesen, A. Frankl and J. Nyssen. 2017. Impact of deforestation on soil fertility, soil carbon and nitrogen stocks: the case of the Gacheb catchment in the White Nile Basin, Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 247:273–282. Doi: 10.1016/j.agee.2017.06.034.

Kirkham, M. B. 2014. *Principles of soil and plant water relations*. Academic Press. San Diego, CA, USA. 579 p.

Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI, USA. pp. 687-734.

Krasilnikov, P., M. del C. Gutiérrez-Castorena, R. J. Ahrens, C. O. Cruz-Gaistardo, S. Sedov and E. Solleiro-Rebolledo. 2013. *The soils of Mexico*. Springer. Dordrech, Netherlands. 187 p.

Kumar K., T., A. Datta, N. Basak, S. Mandi, S. Hembram and R. Roy. 2017. Evaluation of saturated hydraulic conductivity from soil properties in an Inceptisol using different land cover and depths. *Journal of Applied and Natural Science* 9(3):1482–1488. Doi: 10.31018/jans.v9i3.1388.

Lyman O., R. y M. Longnecker. 2001. *An Introduction to statistical methods and data analysis*. Duxbury Thomson Learning. Pacific Grove, CA, USA. 1213 p.

Mangiafico, S. S. 2016. *Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in*

R, *version 1.19.10*. [https://rcompanion.org/handbook/F\\_16.html](https://rcompanion.org/handbook/F_16.html). (18 de febrero de 2019). Rutgers Cooperative Extension. New Brunswick, NJ, USA.

Microsoft. 2018. *Microsoft Excel 365*. [www.microsoft.com/es-mx/microsoft-365/excel](http://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-365/excel). (1 de septiembre de 2018). Microsoft Corporation. Redmond, DC, EE. UU.

Ortiz S., C. A. 2010. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo.Méx., México. 335 p.

Osman, K. T. 2013. Forest soils. Properties and management. Springer Cham. Switzerland. 217 p.

R Core Team. 2018. *The Comprehensive R Archive Network*. <https://cran.itam.mx/>. (1 de septiembre de 2018). Instituto Tecnológico Autónomo de México. Álvaro Obregón, Cd. Mx., México.

Santiago-Mejía, B. E., M. R. Martínez-Menez, E. Rubio-Granados, H. Vaquera-Huerta y J. Sánchez-Escudero. 2018. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema lama-bordo en la Mixteca Alta de Oaxaca, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 15(2):275-288. <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v15n2/1870-5472-asd-15-02-275.pdf>. (1 de septiembre de 2018).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. DOF Edición matutina, Segunda Sección, 1-73 pp. <https://www.dof.gob.mx/index.php?year=2002&month=12&day=31&edicion=MAT#gsc.tab=0>. (1 de septiembre de 2018).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2015. Suelos, bases para su manejo y conservación. Cuadernos de divulgación ambiental. Semarnat, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (Cecadesu), Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas, WWF México y Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. México, D. F., México. 40 p.

Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua. 2019. Normales climatológicas del estado de Oaxaca (Nombre: Jaltepec de Candayoc, Municipio: San Juan Cotzocón, Clave: 20045). <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=oax>. (18 de febrero de 2019).

Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 2009. Introduction to Bioestistics. Dover Publications. Mineola, NY, USA. 384 p.

Soleimani, A., S. Mohsen H., A. R. Massah B., M. Jafari and R. Francaviglia. 2019. Influence of land use and land cover change on soil organic carbon and microbial activity in the forests of northern Iran. *Catena* 177:227–237. Doi: 10.1016/j.catena.2019.02.018.

Sustaita-Rivera, F., V. Ordaz-Chaparro, C. Ortiz-Solorio y F. de León-González. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia* 34(4):379–386. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/42/42>. (20 de febrero de 2019).

Volverás-Mambuscay, B., E. Amézquita-Collazos y J. M. Campo-Quesada. 2016. Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 17(3):361–377. Doi: 10.21930/rcta.vol17\_num3\_art:513.

Weil, R. R. and N. C. Brady. 2017. The nature and properties of soils. Pearson. New Jersey, USA. 1104 p.

Yáñez D., M. I., I. Cantú S. y H. González R. 2018. Effect of land use change on chemical properties of a vertisol. *Terra Latinoamericana* 36(4):369–379. Doi: 10.28940/terra.v36i4.349.

Zar, J. H. 2014. *Biostatistical analysis*. Pearson Education Limited. Harlow, Essex, United Kingdom. 756 p.



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