

NOTA TÉCNICA

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS Y SU RELACIÓN CON SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN EL MUNICIPIO CAMPOALEGRE, DEPARTAMENTO DEL HUILA, COLOMBIA

David Saavedra-Mora¹, Valentín Murcia-Torrejano¹, Leidy Machado-Cuellar¹, Joserth Sánchez-Cerquera¹, Luis F. Estrada-Quintero¹ y Claudia M. Ordoñez-Espinosa¹

RESUMEN

Las propiedades del suelo son el soporte vital para el desarrollo de las plantas y de los organismos, y de éste depende la productividad de los cultivos; sin embargo, el manejo de la agricultura puede cambiar la calidad del suelo. En este contexto, el objetivo fue caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo de 13 unidades productivas (UP) en el Centro de Formación Agroindustrial en el municipio Campoalegre, departamento del Huila, Colombia, y su relación con los sistemas de producción. Para ello, se tomaron muestras en tres puntos representativos de cada UP hasta la profundidad de 60 cm y se determinó la densidad aparente (Da), porosidad total, contenido de materia orgánica (MO), pH y conductividad eléctrica. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat para el análisis de los resultados con pruebas de LSD Fisher y método multivariado de conglomerados. Se encontró que los suelos fueron heterogéneos atribuido a la variabilidad del manejo y cultivo establecido. Las principales diferencias se hallaron en el grado de compactación del suelo, reflejado en la mayor Da en el sistema con cultivo del café, y en el mayor contenido de MO observado en el arreglo agroforestal con cultivos de maracuyá, plátano y cacao. Las unidades productivas de cacao y el sistema agroforestal conformado por especies frutales y cacao se asociaron mediante variables de pH y materia orgánica con impactos significativos en las propiedades físicas y químicas de suelo.

Palabras clave adicionales: Análisis multivariado, compactación, materia orgánica, porosidad del suelo, sistema agroforestal

ABSTRACT

Soil physical and chemical properties and their relationship with productive units in Campoalegre, Huila State, Colombia
The soil properties are a vital support for development of plants and organisms, and affect the crop productivity; nevertheless, the agriculture managing can change the soil quality. The objective of this research was to characterize properties of the soil in 13 productive units (PU) in the Center of Agroindustrial Formation, Campoalegre County, Huila State, Colombia, and their relationship with the production system. Samples were taken at three representative points of each PU, to a depth of 60 cm, from which organic matter (OM), pH, electrical conductivity, bulk density (Bd) and total porosity were determined. The software InfoStat was used for data analysis based on Fisher LSD variance test and a multivariate conglomerate method. It was found that soils were heterogeneous, attributed to the variability of management and established crops. The main differences were found in the degree of soil compaction, due to the higher Da in the system with coffee crop, and in the higher OM content observed in the agroforestry system with passion fruit, banana and cocoa crops. Cocoa productive unit and the agroforestry system, conformed by fruit crops and cocoa, were associated by variables of pH and organic matter with impacts on soil physical and chemical properties.

Additional key words: Agroforestry system, multivariate analysis, organic matter, soil compaction, soil porosity

INTRODUCCIÓN

El suelo como sustrato heterogéneo determina un ambiente fundamental para el desarrollo de cualquier sistema de producción agrícola (Roy et

al., 2018; Bulgakov et al., 2018). No obstante, la calidad del suelo ha estado marcada por el interés de la expansión de la frontera agrícola que puede causar aceleración en los procesos de degradación edáfica (Amézquita et al., 2013; Cubillos et al.,

Recibido: Julio 19, 2018

Aceptado: Marzo 11, 2019

¹ Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA-Regional Huila, Centro de Formación Agroindustrial -SENNOVA-Grupo de Investigación Agroindustrial La Angostura, Departamento del Huila, Colombia
e-mail: saavedra.deivi@misena.edu.co (autor de correspondencia)

2016; Li et al., 2018) debido al manejo inadecuado de las prácticas agrícolas y agropecuarias (Vallejo, 2013).

En el proceso de recuperación de suelo y aumento de la producción, durante los últimos años, diversos autores han demostrado que la diversificación de cultivos e implementación de sistemas agroforestales contribuyen a mejorar las condiciones del suelo, mediante el aporte de materia orgánica y ciclaje de nutrientes ecológicos (Nair, 1997; Musálem, 2002; Vargas y Sotomayor, 2004), a la vez que el propio sistema radical de las especies arbóreas aumenta la aireación y porosidad del suelo (Alonso, 2011; Murray et al. 2014). Lo anterior representa un conjunto de estrategias y herramientas de buenas prácticas agrícolas para los productores. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los sistemas productivos con relación a las propiedades físicas, químicas del suelo y la asociación con cultivos promisorios de la región, establecidos en el Centro de Formación Agroindustrial en el municipio Campoalegre, departamento del Huila, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, ubicado a 2°41' N, 75°19' W, 612 msnm, en la zona norte del departamento del Huila. La oscilación de la temperatura es de 18-35 °C, humedad relativa de 27-99 % y precipitación anual de 1300-1800 mm, con dos periodos de lluvia en marzo-junio y noviembre-enero (Saavedra et al., 2017).

La investigación se enfocó en 13 unidades productivas (UP) establecidas en el Centro de Formación Agroindustrial, las cuales son representativas para cultivos promisorios en el departamento del Huila. Estas UP tienen un manejo agronómico acorde a la fenología de cada cultivo (Cuadro 1). Los cultivos transitorios se renuevan inmediatamente al terminar su etapa productiva con el fin de mantener la producción.

El muestreo de suelos se realizó entre junio y octubre de 2017 y para la recolección se ajustó la metodología propuesta por Guaca (2017), mediante la cual se siguió un transecto en dirección a la pendiente tomando muestras hasta 60 cm de profundidad en tres puntos principales separados al menos 8 m entre sí, dependiendo del

área superficial de la UP.

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, pasadas por un tamiz de 2 mm y luego almacenadas en bolsas plásticas hasta el momento de su análisis. La determinación del pH se realizó en suspensión 1:1 (Bates, 1983) mediante el método potenciométrico, y la conductividad eléctrica en suspensión 1:5 (Gilabert de Brito et al., 1990) utilizando un conductímetro. Asimismo, se determinó la materia orgánica (MO) por calcinación (IGAC, 2006), la densidad aparente (D_a) por el método del cilindro de volumen conocido (Blake y Hartge, 1986; USDA, 1999) y la densidad real por la técnica del picnómetro (IGAC, 2006) realizando los cálculos según Valenzuela y Torrente (2010); el porcentaje de porosidad total (PT) se calculó por medio de la D_a y la densidad real (Montenegro y Malagón, 1990).

Los datos de las propiedades físicas y químicas del suelo se evaluaron mediante análisis de varianza y prueba de LSD (Fisher) para establecer diferencias entre las UP. Para identificar la semejanza entre éstas se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico, el cual considera la medida de disimilitud en una distancia de atributos (Kaiser y Rice, 1974), bajo el método de mínima varianza de Ward y la distancia euclídea. Todos los análisis se realizaron empleando el paquete estadístico InfoStat, versión 2017 (Di Rienzo et al., 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del suelo. Se encontraron diferencias significativas entre las unidades productivas ($P \leq 0,05$) consecuente al efecto de los cultivos, lo que permitió identificar los cambios de la estructura edáfica respecto a los manejos agroecológicos de cada unidad. Los valores más bajos de D_a se observaron en la unidad productiva de cacao (Ca) con $1,39 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, aunque fueron similares estadísticamente con los valores medios de $1,46 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ observados en el arreglo agroforestal, es decir el asociado con especies frutales y cacao (SA), o de aguacate (Ag) (Cuadro 2). La unidad productiva de café (Cf) presentó valores superiores de D_a con $1,64 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ lo cual evidencia cierto nivel de compactación que podría estar asociada al sistema radical del cultivo. El resto de las demás unidades presentaron valores similares que variaron entre $1,48$ y $1,58 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Cuadro 1. Características de las unidades productivas del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

Cultivos	Identificación	Características
Aguacate	Ag	En la unidad productiva de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) cuenta con 157 individuos en un área de 2500 m ² con distancia de siembra de 3 x 3 m
Arazá	Ar	La unidad de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>) con un total de 190 individuos en un área sembrada de 2500 m ² con una distancia de siembra de 4 x 4 m
Badea	Bd	El cultivo de badea (<i>Passiflora quadrangularis</i> L.) presenta un área de 2500 m ² con distancia de siembra de 4x6 m, la unidad productiva cuenta con 50 individuos
Cacao	Ca	Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en arreglo agroforestal compuesto por especies maderables de iguá (<i>Pseudosamanea guachapele</i> L.), nogal cafetero (<i>Cordia alliodora</i> R&P Cham. ex A. DC.) y matarratón (<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.); unidad productiva con área de 6124 m ² y 547 árboles
Café	Cf	Café (<i>Coffea arabica</i> L.) en arreglo agroforestal asociado con la especie de sombra matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>) y plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.). Se encuentra establecida con variedades de café Tabi y Castillo en un área aproximada de 625 m ² . Las plantas de café están sembradas a una distancia de 3 x 4 m y el matarratón a 7 x 6 m
Cítricos	Ct	Limón <i>Citrus x limon</i> (L.) Osbeck, lima Tahití <i>Citrus x latifolia</i> Tan., mandarina Cleopatra <i>Citrus reshni</i> Hort ex Tan., mandarina común <i>Citrus reticulata</i> Blanco, naranja Valencia <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck, naranja Washington, naranja tangelo <i>Citrus tangelo</i> Ingram & Moore, y toronja <i>Citrus x paradisi</i> Macfad.; unidad con área aproximada de 7400 m ²
Guanábana	Gn	El cultivo de guanábana (<i>Annona muricata</i> L.) tiene aproximadamente dos años de edad, con un área de 4086 m ² en una distancia de siembra de 5 x 5 m, con un total de 76 individuos
Guayaba	Gb	El cultivo de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.) presenta una densidad de siembra de 3 x 3 m en un área 1100 m ² para un total de 183 individuos
Mango	Mg	Cultivo de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) sembrado a una distancia de 4 x 6 m, con total de 500 árboles en total
Maracuyá, plátano y cacao	SA	Arreglo agroforestal asociado con especies frutales y cacao. El área aproximada sembrada es de 456 m ² . El maracuyá (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> O. Deg.) sembrado en surcos con distancia de 1,5 m
Maracuyá	My	El cultivo de maracuyá variedad amarillo presenta un área de 6288 m ² en distancia de siembra de 4 x 4 m con un total de 200 plantas
Piña	Pñ	Cultivo de piña (<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.) variedad oro miel, en área de 250 m ² y distancia de siembra de 0,18 m, con 1394 individuos
Plátano	Pt	El cultivo de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.) está sembrado a una distancia de 3 x 4 m con un total de 450 individuos

En la valoración de la porosidad total, los porcentajes de PT oscilaron entre 40,4 y 28,6 % correspondientes a las unidades productivas de Ca y Cf, respectivamente, resultado que se correlaciona inversamente con los valores de densidad aparente (Cuadro 2). En general, los

valores de porosidad se consideran bajos. Los suelos con PT baja pueden limitar el crecimiento del sistema radical y la capacidad de retención de agua (Kaurichev et al., 1984), y afectar, a su vez, la biología del suelo (Torres et al., 2013).

Montealegre (2014) describe las propiedades

físicas como resultado de la interacción de las coberturas y manejo agroecológico de cada zona, lo cual también se evidencia en el presente estudio donde se observan modificaciones en la densidad aparente y porosidad total. Asimismo, Cherubin et al. (2016) y Mitchell et al. (2017) mencionan que estas propiedades pueden cambiar con relación al uso, demostrando que mediante el manejo de coberturas, rotación de cultivos y cero labranza se pueden mejorar significativamente las propiedades físicas del suelo.

Propiedades químicas del suelo. Con respecto a las propiedades químicas del suelo, los sistemas productivos presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la unidad agroforestal de SA con los porcentajes más altos de materia orgánica (5,5 %), seguido de la unidad productiva de cacao (Ca), piña (Pñ), cítricos (Ct) y especies de passiflora como badea (Bd) y maracuyá (My) con 4,53; 4,16; 4,16; 3,92 y 3,90 %, respectivamente (Cuadro 3). Autores como Vargas y Sotomayor (2004) mencionan que la implementación de sistemas agroforestales promueve incrementos en el contenido de materia orgánica y permite un mayor ciclaje de nutrientes por el aporte de hojarasca; igualmente, los árboles de hojas anchas, como el caso del cacao, pueden ser usados para la rehabilitación de suelos degradados y aumentar así la calidad del suelo (Pérez, 2016; Torres et al.,

2017; Kooch et al., 2017a).

En estudios realizados por Pulido et al. (2010) sobre los cambios en materia orgánica en cultivos de cítricos se encontró que un mismo manejo del cultivo en suelos distintos, afectó de forma diferente a la forma en que la biomasa microbiana respondía en su eficiencia al uso del carbono orgánico.

Cuadro 2. Densidad aparente (Da) y porcentaje de porosidad total (PT) del suelo de las unidades productivas del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

Unidades productivas	Da ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	PT (%)
Ag	1,46 cd	36,2 abcd
Mg	1,55 bc	36,8 abc
Ct	1,51 bc	32,9 bcde
Gn	1,50 bc	39,2 ab
Cf	1,64 a	28,6 e
Pt	1,58 ab	32,5 cde
Gb	1,48 bcd	38,1 ab
Ar	1,49 bcd	34,9 abcd
Pñ	1,52 bc	34,7 bcd
Bd	1,56 abc	38,0 abc
My	1,50 bc	40,3 ab
Ca	1,39 d	40,4 a
SA	1,46 cd	34,5 bcd

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de LSD Fisher ($P \leq 0,05$)

Cuadro 3. Propiedades químicas del suelo, de las unidades productivas del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

Unidades productivas	pH	CE ($\text{dS} \cdot \text{m}$)	MO (%)
Ag	6,13 cd	0,08 cd	3,33 bcd
Ar	6,41 bc	0,13 bc	2,68 cd
Bd	6,75 ab	0,23 a	3,92 abcd
Ca	7,01 a	0,12 bc	4,53 ab
Cf	6,32 bc	0,12 bc	3,46 bcd
Ct	6,26 bc	0,13 bc	4,16 abc
Gb	6,41 bc	0,01 e	2,40 d
Gn	6,26 bc	0,13 bc	2,73 cd
Mg	6,06 d	0,15 b	2,42 d
SA	7,15 a	0,14 bc	5,50 a
My	6,89 a	0,05 de	3,90 abcd
Pñ	6,60 b	0,09 bcd	4,16 abc
Pt	6,41 bc	0,13 bc	3,49 bcd

MO: materia orgánica; CE: Conductividad eléctrica. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas, según la prueba de LSD Fisher ($P \leq 0,05$)

El pH presentó los mayores valores en las unidades productivas SA (7,15), Ca (7,01) y My (6,89), las cuales mostraron diferencias significativas con relación a las demás, excepto con la badea (Bd) que tuvo un comportamiento intermedio); el menor valor lo presentó la unidad de mango (Mg) con 6,06 el cual resultó estadísticamente inferior al resto. Por otra parte, se observó una conductividad eléctrica muy baja, con valores inferiores a $0,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadro 2); de hecho, la badea (Bd) fue la unidad productiva que presentó el mayor valor ($0,23 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), con diferencias estadísticas con el resto de las unidades.

Análisis de agrupamiento jerárquico. Al estimar los atributos y variables en estudio se encontraron tres grupos de unidades productivas (Figura 1). El primer grupo, conformado por las unidades de cacao (Ca) y el sistema agroforestal de maracuyá, plátano y cacao (SA), se asocian mediante variables de pH y materia orgánica. Según los resultados, se evidencia que los sistemas agroforestales aportan mayor hojarasca, que finalmente representará la materia orgánica que

puede mejorar tanto el pH como la retención de humedad. Autores como Nair (1997), Musálem (2002) y Vargas y Sotomayor (2004) señalan que la combinación de árboles ayuda a aumentar los niveles de materia orgánica del suelo, fijar nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes y modificar el microclima. De manera que las interacciones planta-suelo pueden tener impactos significativos en las propiedades físicas y químicas de suelo generando sustratos adecuados para el desarrollo biológico por la acumulación y descomposición de materia orgánica (Kooch et al., 2017b)

La unidad productiva de piña (Pñ) presentó alto contenido de materia orgánica, probablemente asociado al manejo y los residuos de cosecha que se incorporan en el suelo a través de las prácticas agrícolas y alternativas viables para la producción, lo que finalmente mejora las condiciones edáficas, en concordancia con lo reportado por Magdoff y Weil (2004), Melero et al. (2009) y Kooch et al. (2018), quienes mencionan que el manejo agroecológico de los cultivos reduce los impactos de degradación del suelo y mejora su estructura.

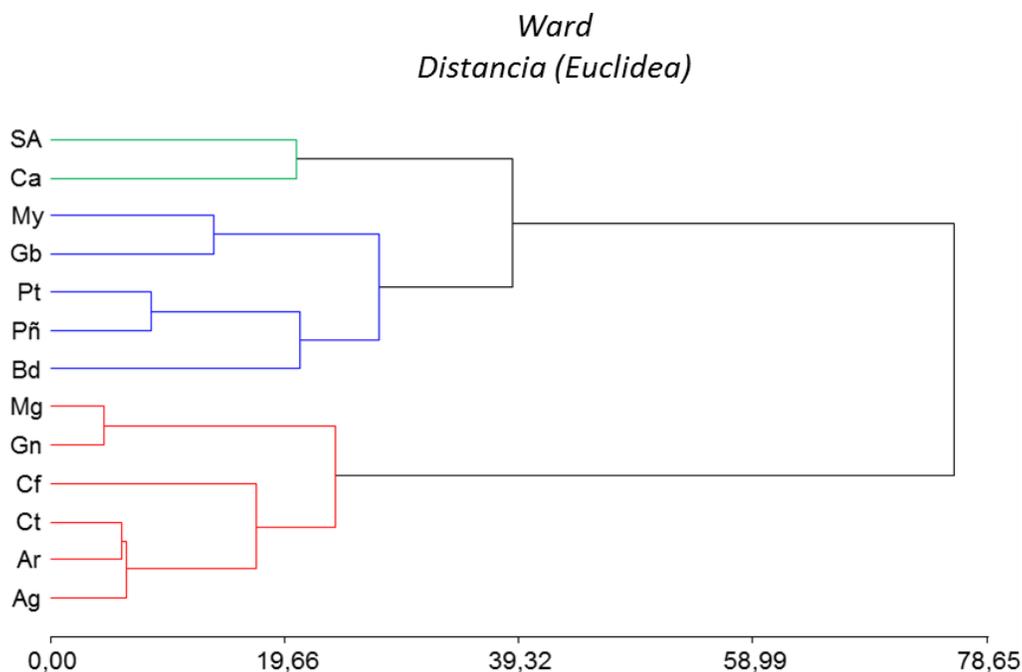


Figura 1. Dendrograma resultante del análisis de conglomerados de propiedades físicas y químicas de las unidades productivas del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura

El segundo grupo, conformado por maracuyá (My), guayaba (Gb), plátano (Pt), piña (Pñ) y badea (Bd), se asocia por tener un comportamiento similar en las propiedades físicas del suelo, en términos medios de densidad aparente, pH y materia orgánica (Cuadros 2 y 3), y finalmente el tercer grupo, que corresponde a las demás unidades productivas evaluadas, presenta asociación por su menor contenido de materia orgánica y mayor densidad aparente, lo que reduce el nivel de porosidad total (Figura 1). En general, las prácticas que mejoren el contenido de materia orgánica, limiten la acumulación de sales, mejoren la retención de agua y eviten la compactación van a contribuir a mantener la calidad del suelo.

CONCLUSIONES

Las propiedades del suelo en las diferentes unidades de producción fueron heterogéneas, atribuido a la variabilidad del manejo del cultivo establecido. Los aportes de hojarasca contribuyen al mejoramiento de la calidad del suelo, y el sistema radical de los cultivos puede generar cambios importantes en la densidad aparente y porosidad. Las unidades productivas de cacao (Ca) y el sistema agroforestal de maracuyá, plátano y cacao (SA), se asocian mediante variables de pH y materia orgánica con impactos significativos en las propiedades físicas y químicas de suelo.

LITERATURA CITADA

- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola* 45(2): 107-115.
- Amézquita, E., I. Rao, M. Rivera, I. Corrales y J. Bernal. 2013. *Sistemas Agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los llanos orientales de Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 288 p.
- Bates, R.G. 1973. *Determination of pH. Theory and Practice*. Wiley, New York.
- Blake, G. y H. Hartge. 1986. Bulk density. *In: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy Monograph N° 9*. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, EE.UU. pp. 363-375.
- Bulgakov, D., D. Rukhovich, E. Shishkonakova y E. Vil'chevskaya. 2018. The application of soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia. *Eurasian Soil Science* 51(4): 448-459.
- Cherubin, M, D. Karlen, A. Franco, C. Tormena, C. Cerri, C. Davies y C. Cerri. 2016. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma* 267(1): 156-168.
- Cubillos, A., V. Vallejo, Z. Arbeli, W. Terán, R. Dick, C. Molina, E. Molina y F. Roldan. 2016. Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *European Journal of Soil Biology* 72(1): 42-50.
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. 2017. *InfoStat versión 2017*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gilabert de Brito, J., I. López de Rojas y R. Pérez de Roberti. 1990. *Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelos para diagnósticos de fertilidad*. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 164 p.
- Guaca, L. 2017. *Incidencia del cambio de cobertura sobre las propiedades químicas y bioquímicas como indicadores de calidad de suelo en el Departamento del Caquetá*. Tesis. Universidad de la Amazonia: Facultad de Ciencias Agropecuarias. Florencia-Caquetá. 94 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. IGAC. Bogotá. 637 p.
- Kaiser, H. y J. Rice. 1974. Little Jiffy Mark IV. *Educ. Psychol. Meas.* 34(1): 111-117.
- Kaurichev, I., N. Panov, M. Stratonovich, I. Grechin, V. Savich, N. Ganzhara y A. Mershin 1984. *Prácticas de Edafología*. Ed. MIR. Moscú.
- Kooch, Y., B. Samadzadeh y S. Hosseini. 2017a. The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena* 150 (1): 223-229.

15. Kooch, Y., F. Tarighat, S. Hosseini y S. Hosseini. 2017b. Tree species effects on soil chemical, biochemical and biological features in mixed Caspian lowland forests. *Trees* 31(3): 863-872.
16. Kooch, Y., R. Sanji y M. Tabari. 2018. Increasing tree diversity enhances microbial and enzyme activities in temperate Iranian forests. *Trees* 32(3): 809-822.
17. Li, M., Y. Wang, P. Xu, B. Fu, C. Tian y S. Wang. 2018. Cropland physical disturbance intensity: plot-scale measurement and its application for soil erosion reduction in mountainous areas. *Journal of Mountain Science* 15(1): 198-210.
18. Magdoff, F. y R. Weil. 2004. Soil organic matter management strategies. *In*: F. Magdoff y R. Weil (eds.). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, New York. pp. 45-65.
19. Melero, S., R. López, J. Murillo y F. Moreno. 2009. Conservation tillage: Short-and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research* 104(2): 292-298.
20. Mitchell, J., A. Shrestha, K. Mathesius, K. Scow, R. Southard, R. Haney, R. Schmidt, D. Munk y W.R. Horwath. 2017. Cover cropping and no-tillage improves soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley. *USA. Soil and Tillage Research* 165(1): 325-335.
21. Montealegre, C. 2014. Determinación del efecto de diversos sistemas de uso del suelo sobre las propiedades que regulan la oferta hídrica en el piedemonte amazónico y generación de un indicador hídrico potencial. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. 172 p.
22. Montenegro, H y D. Malagón. 1990. *Propiedades Físicas de los Suelos*. Subdirección de Agrología. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Sub-Dirección Agrológica. Bogotá. 813 p.
23. Murray, R., M. Orozco, A. Hernández, C. Lemus y O. Nájera. 2014. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 18(1): 23-31.
24. Musálem, M. 2002. *Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8(2): 91-100.
25. Nair, P.K. 1997. *Agroforestería, Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 543 p.
26. Pérez-Castro, J.M. 2016. Determinación del contenido de materia orgánica en suelos pardos mullidos medianamente lavados con el empleo de la técnica Vis-Nir. Tesis. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 45 p.
27. Pulido-Moncada, M., B. Flores, S. Rondón, R. Hernández-Hernández y Z. Lozano. 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, Inceptisol y Ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro* 22(3): 201-210.
28. Roy, S., M. Roy, A. Jaiswal y A. Baitha. 2018. *Soil Arthropods in Maintaining Soil Health: Thrust Areas for Sugarcane Production Systems*. *Sugar Tech* 20(4): 376-391.
29. Saavedra, D., L. Machado y V. Murcia. 2017. Incidencia de las condiciones climáticas sobre el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el Municipio de Campoalegre-Huila. *Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura* 4(1): 10-25.
30. Torres-Guerrero, C., B. Etchevers, D. Jorge, M. Fuentes-Ponce, B. Govaerts, F. León-González, y J. Herrera. 2013. Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana* 31(1): 71-84.
31. Torres, D., J. Álvarez, J. Contreras, M. Henríquez, W. Hernández, J. Lorbes y J. Mogollón. 2017. Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 29(3): 207-218.
32. USDA (United States Department of Agriculture). 1999. *Soil quality test kit guide*. USDA, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality

- Institute. Washington, D.C. 82 p.
33. Valenzuela, I. y A. Torrente. 2010. Física de suelos. *In*: H. Burbano y F. Mojica (eds.). Ciencia del suelo. Principios Básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. pp. 139-211.
34. Vallejo-Quintero, V.E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal* 16(1): 83-99.
35. Vargas, R. y G. Sotomayor. 2004. Modelos agroforestales y biodiversidad. Seguimiento al Tema Especial I. Conservación de la biodiversidad. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA* 20(2): 123-124.