

EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN TABASCO, MÉXICO

EVALUATION OF THE AGROFORESTRY CACAO (*Theobroma cacao* L.) SYSTEM THROUGH INDICATORS OF SOIL QUALITY IN TABASCO, MEXICO

Pascual-Córdova, G.^{1,2}; Obrador-Olán, J.J.^{2*}; García-López, E.²; Carrillo-Ávila, E.³; Sánchez-Soto, S.²; Guerrero-Peña, A.²; Ortiz-García, C.F.²

¹Estudiante de la Maestría en Ciencias Producción Agroalimentaria en el Trópico, ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carr. Cárdenas-Huimanguillo km 3.5. CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. ³Campus Campeche-CP. Carretera Haltun-chén – Edzná, km. 17.5. C.P. 24450. Sihochac, Champotón, Campeche, México.

*Autor para correspondencia: obradoro@colpos.mx

RESUMEN

Con la finalidad de conocer el estado nutrimental del suelo en un sistema agroforestal (SAF) cacao (*Theobroma cacao* L.), se realizaron muestreos de suelos a 0-30 y 30-50 cm. Se hicieron perfiles edáficos para hacer su clasificación, y muestreos para macrofauna, indicadores de calidad química y densidad de longitud de raíces (DLR) a una profundidad de 1.60 m, cada 20 cm, en dos épocas (sequía y lluvia). Los resultados permitieron clasificar el suelo como Cambisol gléyico (CMgl). El diagnóstico nutrimental mostró en general bajos valores, sin embargo, la materia orgánica y nitrógeno, fueron mayores en la época húmeda a 0-30 cm; el fósforo fue más alto en la sequía a 0-60 cm; los demás parámetros no mostraron diferencias entre épocas. Las bases de intercambio mostraron valores bajos en las dos épocas, siendo muy bajos el magnesio y potasio (K), considerando que el último es el nutrimento más demandado por el cacao. La macrofauna en general fue muy escasa, aunque en la época húmeda se notó mayor presencia. La DLR reveló una exploración importante de la biomasa radical hasta 100 cm de profundidad.

Palabras clave: análisis nutrimental, densidad de longitud de raíces, macrofauna.

ABSTRACT

With the aim of understanding the nutritional state of the soil in a cacao (*Theobroma cacao* L.) agroforestry system (AFS), soil samples were taken at 0-30 and 30-50 cm. Soil profiles were performed to classify them, and sampling for macrofauna, chemical quality indicators and density of root length (DRL) at a depth of 1.60 m, every 20 cm, in two seasons (drought and rain). The results allowed classifying the soil as Gleyic Cambisol (CMgl). The nutrient diagnosis showed low values in general, however, the organic matter and nitrogen were higher in the humid season at 0-30 cm; phosphorus was higher in the dry season at 0-60 cm; the other parameters didn't show differences between seasons. The bases of exchange showed lower values in the two seasons, with magnesium and potassium (K) being very low, considering that the last is the most demanded nutrient by cacao. The macrofauna in general was very scarce, although during the humid season more presence was noticed. The DRL revealed an important exploration of the root biomass down to 100 cm depth.

Keywords: nutrient analysis, density of root length, macrofauna.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre, 2017, pp. 36-42.

Recibido: junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En México, la mayor parte del área plantada con cacao (*Theobroma cacao* L.) se localiza en los estados de Tabasco y Chiapas, donde la superficie cultivada y la producción, en conjunto, ha disminuido de 75,356 ha y 36,360 t en la década de los ochentas, a 61,397 ha y 28,007 t en 2015 (SAGARPA, 2017). Lo anterior se atribuye entre otros factores a baja fertilidad edáfica, edad avanzada de las plantaciones, altos costos de producción, intervención de intermediarios ("coyotes"), bajos precios del producto y presencia de plagas y enfermedades entre las que destaca la moniliasis (*Monilia roreri*) (Díaz-José *et al.*, 2013). El manejo tradicional del cultivo, involucra a muchas especies de plantas de utilidad que se integran como un sistema agroforestal (SAF), donde la producción de madera, frutos, especias, etcétera, y la de cacao durante todo el año, amortigua los periodos críticos para el productor y su familia (PRODESOC, 2006). La calidad del suelo está relacionada estrechamente con su aptitud para funcionar como un sistema vivo, dentro de los límites del ecosistema y uso, capaz de sostener la productividad de plantas y animales, manteniendo la calidad del agua, aire, y promoviendo la sanidad vegetal y animal (Doran y Zeiss, 2000). Para poder diferenciar, sistematizar y evaluar la calidad de un suelo, es necesario contar con indicadores de calidad edáfica (Rossi *et al.*, 2009), definidos como parámetros de características químicas, físicas y biológicas, sensibles a las perturbaciones, y que representan el desempeño de la función del ecosistema en el suelo. Son propiedades dinámicas con variaciones espaciales y temporales (Labrador, 1996), en las que el conocimiento de la capacidad de exploración por nutrimentos de las raíces finas (<3 mm) es medular, debido a que son las encargadas de la extracción de minerales (bombeo de nutrimentos). Los modelos de crecimiento vegetal requieren de la medición del sistema radical de las plantas cultivadas, y para ello se utilizan parámetros, tales como el crecimiento y la densidad radical (Comerford, 2005), o la densidad de longitud de raíces (DLR, km de raíces m³ de suelo), que se relaciona con la aireación del suelo y absorción de nutrientes (Morales, 1997), la toma de éstos por las plantas depende, de forma importante, del desarrollo radical de los cultivos, sobre todo en el caso de elementos poco móviles (Van noodwijk y De Willigen, 1991).

La fertilización en el SAF de cacao, es una actividad que pocos agricultores efectúan, debido a que desconocen que el sistema tiene más salidas que entradas de

nutrientes, a pesar de mantenerse un continuo depósito de materiales orgánicos, los cuales pueden no estar disponibles en el momento en que se requieren (Ávila *et al.*, 2013). Mantener la materia orgánica (MO) es importante para la calidad del suelo, su productividad agrícola, y persistencia de la fauna del suelo y biomasa en general. Los organismos edáficos (macrofauna) modifican el suelo de acuerdo a su densidad, movimientos y hábitos alimenticios, una alta cantidad de biota del suelo se relaciona con buena fertilidad (Cabrera, 2012). El SAF cacao es reconocido como un sistema sostenible, por la diversidad de especies de plantas y animales que en él habitan (Donald, 2004), por su bajo uso de insumos (las plantas fijadoras de N) (Sánchez, 2012), el arraigo cultural de las personas, la aceptación de productores de bajos recursos económicos, y por ser un sitio de convivio social (Priego *et al.*, 2009); no obstante, del agroecosistema se exporta anualmente una cantidad importante de nutrimentos; una tonelada de cacao extrae alrededor de 35 kg de N, 15 de P, 80 de K y 12 de Mg y Ca (IFA, 1992). El historial de extracciones periódicas y la aidez por K que tiene el cacao podría estar causando una disminución importante de la calidad del suelo y un desbalance nutrimental (Isacc *et al.*, 2007). Con base en lo anterior, se realizó la determinación de indicadores de fertilidad química y biológica del suelo del SAF cacao, además de la DLR de la planta del cacao, en las épocas de sequía y humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La parcela experimental se ubicó en el estado de Tabasco, México, en la región del Plan Chontalpa, Poblado C-34, Lic. Benito Juárez García (17° 58' 90.5" N y 93° 35' 35" O). El estudio se realizó en un suelo de la unidad Cambisol, representativo de la planicie aluvial y del SAF cacao, cuya selección se hizo con base en el estudio de Jiménez *et al.* (2013), observaciones de campo (barrenaciones de suelo) y entrevistas con productores cooperantes. La plantación registró una edad aproximada de 20 años y un arreglo topológico de 4x4 m, con árboles de sombra mayormente de chipilcó (*Diphysa robinoides* Benth.), madre de cacao (*Erythrina poeppigiana* [Walp.] O.F. Cook) y pataste (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.).

Caracterización de la unidad de suelo. Se realizó la descripción taxonómica (Figura 1), mediante la apertura de un perfil de 1.50 m de profundidad (Cuanalo, 1990) y la clasificación según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS-WRB, 2015). A las muestras de cada


Perfil	Ho	Descripción.
	0-20	Color de la matriz del suelo: 5YR 2.5/2 café muy oscuro. Transición: marcada horizontal. Húmedo. Textura: franco arcilloso. Consistencia en húmedo: firme muy húmedo ligeramente pegajoso. Estructura: moderadamente desarrollada de forma poliédrica angular y subangular muy fino. Cutanes: planchados por presión discontinuos delgados verticales. Reacción al peróxido de hidrogeno (para MO). Poros: frecuentemente muy finos continuos caóticos. Permeabilidad: lenta. Raíces: comunes finas delgadas y medias. Fauna: túneles de lombriz. pH: 5.
	20-47	Color de la matriz del suelo: 7.5YR 3/1 gris muy oscuro. Transición: tenue horizontal. Húmedo. Textura: franco arcilloso. Consistencia en húmedo: firme muy húmedo ligeramente pegajoso. Estructura: moderadamente desarrollada poliédrica angular. Cutanes: planchado por presión discontinuos delgados y verticales. Con reacción al peróxido de hidrogeno. Poros: frecuentemente muy finos continuos caóticos. Permeabilidad: lenta. Raíces: comunes finas delgadas y medias. Fauna: gallina ciega. pH: 6.
	47-99	Color de la matriz: 7.5YR 4/3 pardo. Transición: tenue horizontal. Húmedo. Moteado: 5YR 5/8 rojo amarillento. Textura: franco arenoso. Consistencia en húmedo: friable muy húmedo ligeramente pegajosa. Estructura: débilmente desarrollado de forma poliédrica angular y subangular. Cutanes: eluviación continuos delgados y verticales. Poros: frecuentemente muy finos y finos continuos y discontinuos caóticos vesicular. Permeabilidad: rápida. Raíces: pocas finas delgadas. pH: 6.
	99-150	Color de la matriz: 7.5 YR 4/4 pardo. Transición: tenue. Muy húmedo. Moteado (frecuente): 5YR 6/1 gris. Textura: franco arenoso. Consistencia en húmedo: pegajoso muy húmedo. Estructura: débilmente desarrollada poliédrica angular y subangular. Cutanes: eluviación discontinuo y verticales. Poros: frecuentes muy finos y medios continuos caóticos vesiculares. Permeabilidad: rápida. Raíces: comunes. pH: 6.

Figura 1. Descripción del perfil en el sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L.)

horizonte se les realizó análisis químico en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados.

Diagnóstico nutrimental del suelo. Con barrena tipo holandesa se tomaron muestras compuestas por 15 submuestras en zig-zag, abarcando todo el terreno, a dos profundidades: 0-30 cm y 30-50 cm, y fueron preparadas para realizarles análisis de: pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MO), textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), en el LASPA, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT, 2002).

Determinación de indicadores para la evaluación del SAF cacao: bajo el dosel de ocho árboles de cacao elegidos al azar, se abrieron ocho calicatas (una por planta) de 1.6 m de profundidad, para muestrear siguiendo el método del monolito (Schlegel *et al.*, 2000) con cubos metálicos de 10×10 y 20 cm de altura, ocho muestras por perfil y un total de 32, con cuatro repeticiones en época húmeda (julio 2011) y cuatro en seca (abril 2012). El suelo obtenido en cada estrato se colocó en bolsas de plástico debidamente identificadas para analizar los indicadores de calidad química del suelo: MO, pH, textura, CIC, COS, N, P-Olsen, K, Ca y Mg (SEMARNAT, 2002). Para conocer el indicador biológico de la calidad del suelo en estudio (macrofauna), en los ocho perfiles, a cada 20 cm, y hasta 60 cm de profundidad se tomaron muestras (24), utilizando cubos metálicos

de 25×25 y 20 cm de altura (Schlegel *et al.*, 2000). Los organismos fueron separados del suelo y depositados en frascos con alcohol al 70 % (laboratorio de Entomología del Campus Tabasco-CP), para ser identificados con microscopio estereoscópico y separados en los principales grupos taxonómicos (Clase y Orden) (USDA, 1999).

Análisis de datos. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con un arreglo factorial considerando dos épocas y ocho profundidades, las variables contrastadas fueron: MO, pH, textura, CIC, CO (carbono orgánico), COS (carbono orgánico soluble), N, P-Olsen, K, Ca y Mg. El grado de asociación entre los parámetros químicos se determinó mediante un análisis de correlación entre las variables N total, MO, COS, P, bases intercambiables, CIC y textura.

Distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLR): se muestreó en las épocas seca y húmeda, en la misma forma y número que para los indicadores de calidad edáfica. Los monolitos utilizados fueron de 7×7 m, y 20 cm de largo. Cada muestra de suelo se colocó en bolsa de polietileno con su identificación correspondiente para ser lavada a mano por el método de Böhm (1979) y extraídas las raíces finas, de diámetro inferior de 3 mm (Cuanalo, 1990), secadas en estufa a 70 °C hasta peso constante y pesadas en balanza de precisión ($\pm 0.0001g$). Los valores resultantes recibieron el mismo tratamiento estadístico que el de los indicadores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo: el suelo se clasificó como Cambisol gléyico (CMgl) (Figura 1), que deriva de sedimentos fluviales y presenta propiedades gléyicas entre los 20 y 47 cm. En la Chontalpa se ocupa para cultivar cacao, caña de azúcar, maíz, arroz y pastizales (Jiménez *et al.*, 2013).

Diagnóstico nutrimental del suelo. Resaltan los contenidos bajos y medios de MO (Cuadro 1), pues en el sitio se observó gran cantidad de hojarasca, lo que sugiere que probablemente la mineralización esté siendo condicionada por la humedad del sitio. Los demás nutrimentos, excepto el Nt mostraron contenidos medios a muy bajos; destacando el K que registró valores muy bajos, respecto a lo reportado por Alonso (1987); una razón puede ser que este elemento es el más demandado por el cacao (IFA, 1992).

Indicadores químicos y biológicos para evaluar el SAF cacao

La Figura 2 muestra el comportamiento de los contenidos de MO, C, COS y N en las dos épocas, parámetros que están asociados de forma directa con el aporte orgánico de los árboles del SAF cacao. Es evidente que, después de 20 cm no hay diferencias estadísticas entre variables en las diferentes épocas, ni en una misma profundidad, aunque hay un gradiente negativo conforme esta última incrementa, con excepción del COS, que tampoco mostró diferencia en la primera capa. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros suelos y en otros cultivos donde la profundidad se asocia inversamente con la calidad del suelo (Arenas *et al.*, 2013). En la época húmeda se observaron, en general, mayores contenidos, lo que puede estar asociado a un incremento en la velocidad de la mineralización (Abera *et al.*, 2012), aunque llama la atención que el COS, que

Figura 2. Comportamiento de la MO (a), CO (b), COS (c) y N (d) en el suelo del SAF cacao. Barras horizontales indican intervalos de confianza (0.95).

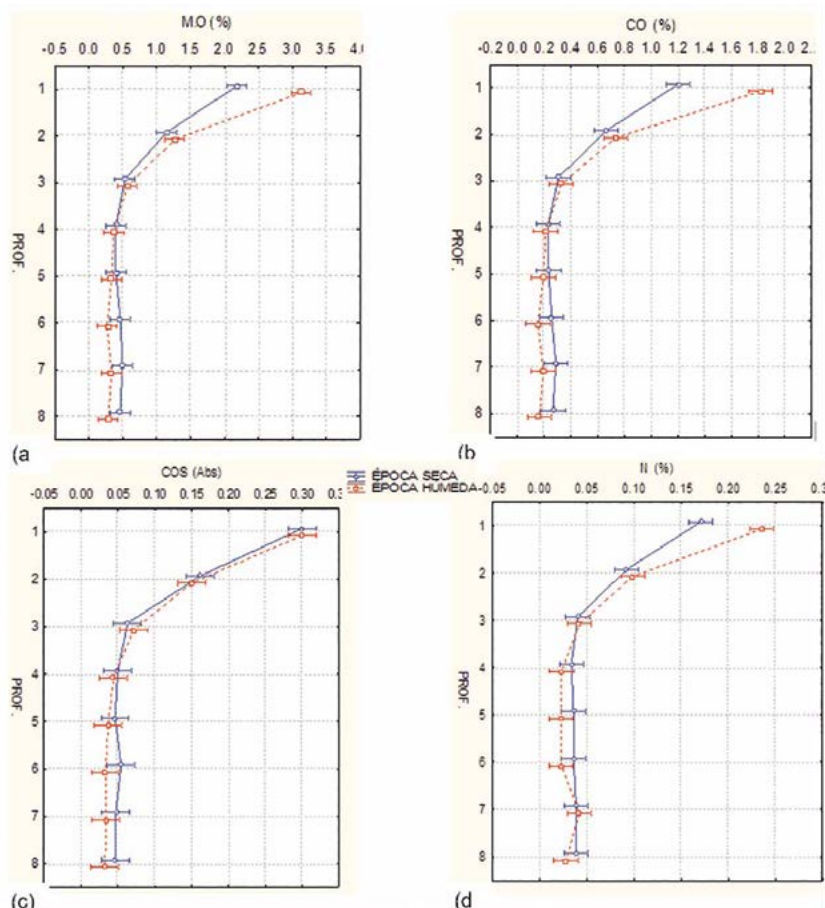
Cuadro 1. Propiedades químicas de un Cambisol Gleyico (CMgl), a dos profundidades: 0-30 cm y 30-50 cm (NOM-021-RECNAT-2000).

Nutriente	Unidad	0-30 cm	Clase*	30-50 cm	Clase*
MO	(%)	2.12	M	0.80	B
COS	(abs)	0.282		0.130	
P	(mg kg ⁻¹)	8.15	M	5.35	B
CIC	(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	17.3	M	15.10	M
K	(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0.07	MB	0.05	MB
Ca	(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	2.17	B	2.02	B
Mg	(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0	MB	0	MB
Nt	(%)	0.18	A	0.09	B
pH		5.8	Ma	5.6	Ma

*Clase: A=alto; M=medio; B=bajo; MB=muy bajo; Ma=moderadamente ácido.

es considerado un parámetro muy confiable para observar los mencionados cambios (Figura 2c), no mostró diferencias estadísticas entre épocas (Leenheer y Croué, 2003).

La CIC incrementó conforme aumentó la profundidad en las dos épocas, y se observaron diferencias estadísticas entre épocas en las profundidades 3, 4 y 6, siendo, en todos los casos, mayor en la época seca (Figura 3a),



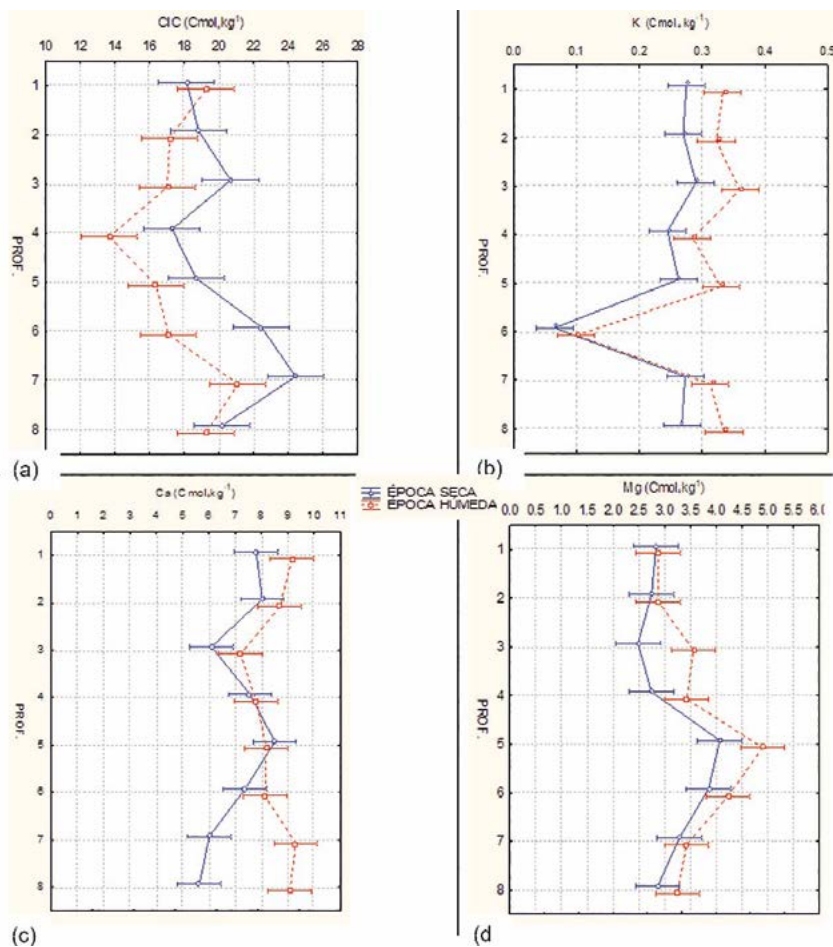


Figura 3. Comportamiento de la CIC (a), K (b), Mg (c) y Ca (d) del suelo en la época seca y húmeda en el SAF cacao. Las barras horizontales indican intervalos de confianza (0.95).

cie del suelo por el aporte de hojarasca de los árboles, en un proceso conocido como bombeo de nutrientes (Moreno *et al.*, 2005). Aunque el Mg mostró tendencia a ser mayor en la época húmeda, sólo presentó diferencia estadística en la segunda profundidad, el Mg es un elemento de gran movilidad, la cual se ve favorecida por las altas precipitaciones (Hartemink, 2005). El P en las tres primeras profundidades en la época seca presentó contenidos de altos a medios, siendo estadísticamente diferentes al encontrado en la época húmeda (valores bajos en todas las profundidades), lo cual pudo estar relacionado con la disminución en la absorción de las plantas por falta de humedad. Con los rendimientos actuales de la plantación la demanda del cultivo parece estar en equilibrio con el suministro del suelo, los contenidos

comportamiento difícil de explicar pero que estaría condicionado principalmente a la variabilidad espacial que existe en el terreno (Cambardella *et al.*, 1994). El K mostró diferencias estadísticas en las profundidades 3, 5 y 8 entre épocas, y en la 6 entre profundidades (Figura 3b). Resaltan los contenidos muy bajos y bajos observados en la sequía y los bajos y medios en la época húmeda, así como un fuerte abatimiento de éstos entre 100 y 120 cm. Al ser el elemento que más se exporta de los SAFs cacao y no ser considerado en las dosis de fertilización, el K es susceptible a registrar bajos valores (Aikpokpodion, 2010), sobre todo porque el productor no está reincorporando la cascarilla, que es la que más nutrimento exporta, ya que funciona como hospedero de la mancha negra del cacao (*Phytophthora capsici*).

El Ca (Figura 3c) mostró diferencia estadística entre épocas, aunque únicamente en las dos últimas profundidades, observando los valores más altos en la época húmeda, lo que es lógico ya que se trata de un elemento muy soluble (Yemefack *et al.*, 2005). Una de las grandes ventajas que tienen los SAFs es que muchos de los nutrientes pueden ser reincorporados a la superfi-

encontrados en este estudio son los comúnmente observados en suelos poco perturbados (Vincenta *et al.*, 2010). En este caso, es importante hacer los ajustes si se quiere manejar fertilización química, ya que un mayor rendimiento conlleva una mayor demanda de nutrimentos (Obrador *et al.*, 2004). El pH mostró una alta variabilidad, pero no hubo diferencias estadísticas entre épocas.

En la Figura 4 se muestra la macrofauna encontrada en el suelo del SAF cacao. En la época seca sólo se hallaron seis individuos y 15 en la época húmeda, todos ellos ubicados en las dos primeras profundidades, donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica y oxígeno, lo que les permite mayor actividad (Huerta *et al.*, 2005). Las lombrices de tierra se encontraron mayormente en los primeros 20 cm, y al igual que los insectos y gasterópodos, su número fue mayor en la época húmeda (Figura 4). Estos valores son bajos si se comparan con los 299 y 628 individuos por m² para parcelas de 30 y 50 años (Ramírez, 2009) y con los 89 y 80 para bosques tropicales y SAF plátano (Liu y Zou, 2002; Geissen *et al.*, 2009).

No hubo diferencias estadísticas en la DLR entre épocas ni en cada profundidad; no obstante, los valores disminuyeron conforme ésta incrementó. Hay una cantidad importante de biomasa radical fina en el primer metro, con porcentajes 30.8, 54.2, 84.5, 91.0 y 96.0; y 35.7, 57.7, 70.0, 86.7 y 92.3 para las profundidades 0-20, 0-40, 0-60, 0-80 y 0-100 cm en la época húmeda y seca, respectivamente. Esto es importante para determinar la profundidad a la que se debe muestrear para analizar la fertilidad, ya que la profundidad de exploración de las raíces finas es un indicativo de la actividad de absorción de nutrientes que tiene la planta (Luster *et al.*, 2009).

Pritchett (1990), estudiando la DLR de las plantas, señala que la mayoría de las raíces finas o delgadas, encargadas de absorber nutrientes, se encuentran en los primeros 50 cm del perfil, y que gran parte de la actividad microbiana (mineralización) se realiza en los primeros 30 cm, pudiendo ser menor, si no se hace laboreo de suelos (Donoso *et al.*, 1999). No obstante que en cacao la DLR está muy influenciada por la calidad del sitio, la intensidad de uso de la tierra, el nivel de perturbación del medio edáfico y la disponibilidad de recursos (Huauya y Huamani, 2014), los valores encontrados están en el orden de lo reportado en estudios con manejos parecidos (Mora y Beer, 2012) y menores a otros donde hay asociación con plantas anuales (Joffre *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2005a).

CONCLUSIONES

El suelo del SAF cacao estudiado se clasificó como Cambisol Gléyico (CMgl). El diagnóstico nutrimental reflejó mayores contenidos de MO y N en la época húmeda y en la primera profundidad (0-20 cm); para P el contenido fue mayor en la sequía y en las primeras tres profundidades (0-60 cm). Los demás parámetros no mostraron diferencias estadísticas entre épocas. Se tiene un aporte constante de hojarasca y raíces, ya que en este SAF no se realizan prácticas de laboreo. La MO mostró contenidos medios en las épocas seca y húmeda. El contenido de bases (de intercambio) fue bajo en las dos épocas, siendo preo-

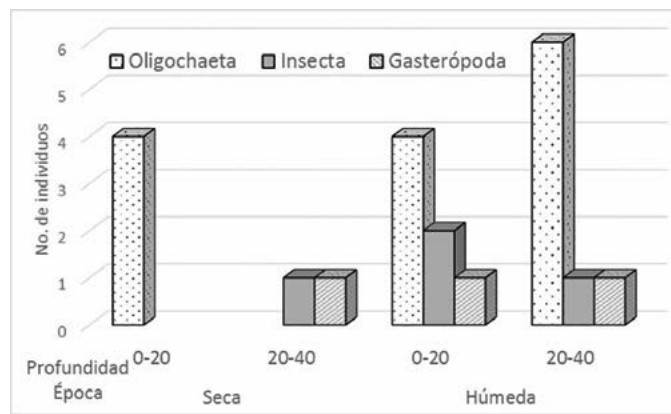


Figura 4. Comportamiento de la macrofauna (Clases) del suelo del SAF cacao en las épocas seca y húmeda.

cupantes los valores muy bajos de Mg y K, sobre todo este último porque es el elemento de mayor demanda en la plantación. La macrofauna es escasa, aún si se compara con sitios donde la agricultura es poco sustentable; no obstante, se encontraron más organismos en la época húmeda. La DLR reveló una importante exploración

de la biomasa radical, extractora de nutrientes, hasta un metro de profundidad, lo que es importante cuando se quiere estimar el suministro del suelo.

LITERATURA CITADA

- Abera G. Wolde-Meskel E. Sheleme B. Bakken L.R. 2012. Nitrogen mineralization dynamics under different moisture regimes in tropical soils. *Int. J. Soil Sci.* 7(4): 132-145.
- Aikpokpodion P.E. 2010. Nutrients dynamics in cocoa soils, leaf and beans in Ondo State, Nigeria. *J. Agri Sci.* 1(1): p. 1-9.
- Alonso V.R. 1987. Contribución de la hojarasca al ciclo de nutrientes, dinámica nutrimental de las hojas. Colegio de Postgraduados. Montecillo. 34 p.
- Arenas A.J.L. 2013. Estimación de carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y cacao (*Theobroma cacao* L.). Colegio de postgraduados. H. Cárdenas. 30 p.
- Ávila A. Campos M. Guharay F. Camacho A. 2013. Aprendiendo e innovando sobre el manejo de la fertilidad de suelos cacaoteros. Lutheran World Relief. 48 p.
- Böhm W. 1979. Methods of studying root systems. *Ecological studies.* Springer Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. 33: 183 p.
- Cabrera G. Robaina N. Ponce de León D. 2012. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes* 34: 331-346.
- Cambardella C.A. Moorman T.B. Novak J.M. Parkin T.B. Karlen D.L. Turco R.F. Konopka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central lowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- Cuanalo de la C.H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.
- Díaz J.O. Aguilar Á.J. Rendón M.R. Santoyo C.V.H. 2013. Current state and perspectives on cocoa production in Mexico. *Cien. Inv. Agr.* 40(2): 279-289.
- Donoso S. Obispo A. Sánchez C. Ruiz F. Herrera M. 1999. Efecto del laboreo sobre la biomasa de *Eucalyptus globulus* en el suroeste de España. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* Vol. 8 (2).
- Geissen V., Peña P.K. Huerta E. 2009. Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedobiología* 53: 75-86.

- Huauya M. Huamai H. 2014. Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). *The Biologist* 12(1): 45-55.
- Huerta E. Rodríguez O. J. Evia C. I. Montejó M. E. de la Cruz M. M. García H. R. 2005. La diversidad de lombrices de tierra (Annelida:Oligochaeta) en el Estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 21(42): 73-83.
- IFA. 1992. World fertilizer use manual. International fertilizer industry association. Paris. 632 p.
- IUSS. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Working Group WRB. FAO, Roma.
- Jiménez R.R., Palma L.D.J., Zavala C.J., Bautista Z.F. 2013. Clasificación y caracterización de suelos de Tabasco con base en el enfoque geomorfopedológico. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas. 158 p.
- Joffre R., Rambal S., Ratte J.P. 1999. The dehesa system of southern Spain and Portugal as a natural ecosystem mimic. *Agroforestry Systems* 45: 57-79.
- Leenheer J. A. Croué J. P. 2003. Characterizing dissolved aquatic organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 37: p. 18-26.
- Liu Z.G. Zou X.M. 2002. Exotic earthworms accelerate plant litter decomposition in a Puerto Rican pasture and a wet forest. *Ecol. Appl.* 12(5): 1406-1417.
- Luster J. Göttlein A. Nowack B. Sarret G. 2009. Sampling, defining, characterising and modeling the rhizosphere—the soil science tool box. *Plant Soil*. 321: 457-482.
- Mora A. Beer J. 2012. Geostatistical modeling of the spatial variability of coffee fine roots under Erythrina shade trees and contrasting soil management. *Agroforest Syst* 87:365-376.
- Moreno G. Obrador J.J. García E. Cubera E. Montero M.J. Pulido F. Dupraz C. 2005. Competitive versus facilitative interactions in oak dehesas determined by management practices. *Agrofor. Syst.* 70: 25-40
- Moreno G. Obrador J.J. Cubera E. Dupraz C. 2005a. Fine root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil* 277: 153-162.
- Obrador J.J. García E. Moreno G. 2004. Consequences of dehesa land use on nutritional status of vegetation in Central-Western Spain. *In: Advances in GeoEcology 37: Sustainability of Agrosilvopastoral systems –Dehesas, Montados-*. Eds. S Schnabel and A. Ferreira. Catena Verlag, Reiskirchen. p. 327-340.
- PRODESOC. 2006. Programa para el desarrollo rural sostenible en el municipio el Castillo. Guía técnica para promotores, cultivo del cacao en sistemas agroforestales. Rio San Juan. 67 p.
- Pritchett W. 1990. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa S.A. México. D. F. p 132-213.
- Ramírez M. A. 2009. Diversidad florística y macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas. 86 p.
- Sánchez G. F. 2012. Recursos maderables en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados, H. Cárdenas. 89 p.
- Schlegel B. Gayoso J. Guerra J. 2000. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 23 p.
- SEMARNAT (2002). Nom -021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, 2nd Sect. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- SAGARPA. 2017. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)- Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario estadístico de la producción agrícola.
- Vincenta A.G. Turner L.B. Tanner E.V.J. 2010. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science* 61: 48-57.
- Yemefack M., Rossiter D.G. Njomgang R. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma* 125: 117-143.

