

## Indicadores de calidad del suelo en el agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

Soil quality indicators in the agroecosystem of sugarcane (*Saccharum spp.*)

Indicadores de qualidade do solo no agroecosistema da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)

Guillermina Pascual-Córdova<sup>1</sup>, José J. Obrador-Olán<sup>1\*</sup>, Eugenio Carrillo-Ávila<sup>2</sup>, Eustolia García-López<sup>1</sup>, Saúl Sánchez-Soto<sup>1</sup>, Armando Guerrero-Peña<sup>1</sup> y Carlos F. Ortiz-García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carretera Cárdenas-Huimanguillo, km 3.5. C.P. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. Correos electrónicos: pascor87@hotmail.com, obradoro@colpos.mx\*, rogarlopez@colpos.mx; sssoto@colpos.mx; garmando@colpos.mx. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná, km. 17.5. C.P. 24450. Sihochac, Champotón, Campeche, México. Correos electrónicos: ceugenio@colpos.mx, cfortiz@colpos.mx.

### Resumen

Indicadores de calidad edáfica del agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum spp.*), cultivo de vital importancia económica y social en el estado de Tabasco, México, fueron analizados en dos épocas del año, a partir de la caracterización y el diagnóstico nutrimental del suelo y la densidad de longitud de raíces finas (DLRF). Se establecieron ocho perfiles, cuatro en la época seca y cuatro en la húmeda, y se tomaron muestras de suelo y biomasa radical en ocho profundidades, se hizo taxonomía de suelo para conocer la unidad, la cual correspondió a un Vertisol Stagnico VRst (Éutrico). El diagnóstico mostró, en general, contenidos nutrimentales bajos y muy bajos, con excepción del P en los primeros 30 cm y CIC hasta los 50 cm. Los indicadores químicos destacaron la importancia de la MO del suelo y su alta correlación con el COS, N y P. El Ca y Mg también mostraron correlaciones altas entre sí. La macrofauna, como indicador biológico, fue escasa sobre todo en la época seca, lo que sugirió degradación del suelo. La DLRF fue

Recibido el 05-05-2017 • Aceptado el 21-11-2017

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: obradoro@colpos.mx

estadísticamente mayor en la época húmeda en las tres primeras profundidades, en tanto que en la época seca fue homogénea en casi todas. La distribución vertical de las raíces finas (<3 mm), extractoras de nutrientes, indicó una importante exploración hasta los 140 cm de profundidad.

**Palabras clave:** fertilidad del suelo, macrofauna, diagnóstico nutricional.

### Abstract

Soil quality indicators of the agroecosystem sugarcane (*Saccharum* spp.), a crop of vital economic and social importance in the state of Tabasco, were analyzed in two seasons of the year, based on the soil nutrient characterization and diagnosis, and the fine root length density (FRLD). Eight profiles were opened, four in the dry season and four in the humid one, and samples of soil and radical biomass were taken at eight depths, soil taxonomy was used to know the unit, which corresponds to a Stagnic (Eutric) Vertisol VRst. The diagnosis showed, in general, low and very low nutritional contents, with the exception of P in the first 30 cm and CIC up to 50 cm. The chemical indicators highlight the importance of soil OM and its high correlation with the COS, N and P. Ca and Mg also showed high correlations with each other. Macrofauna, as a biological indicator, was scarce, especially in the dry season, suggesting soil degradation. FRLD was statistically higher in the wet season in the first three depths, whereas in the dry season it was homogeneous in almost all of them. The vertical distribution of fine roots (<3 mm), nutrient extractors, indicates an important exploration up to 140 cm depth.

**Key words:** soil fertility, macrofauna, nutritional diagnosis.

### Resumo

Indicadores da qualidade edáfica do agroecossistema da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), cultura de importância econômica e social vital no estado de Tabasco, México, foi analisada em duas estações do ano, com base na caracterização e no diagnóstico nutricional do solo e da densidade do comprimento da raiz (DCRF). Foram estabelecidos oito perfis, quatro na estação seca e quatro na úmida, e amostras de biomassa do solo e da raiz foram realizadas em oito profundidades, a taxonomia do solo foi feita para conhecer a unidade, o que correspondeu a um Vertisol Stagnico VRst (Étric). O diagnóstico mostrou, em geral, conteúdos nutricionais baixos e muito baixos, com exceção de P nos primeiros 30 cm e CTC até 50 cm. Os indicadores químicos destacaram a importância da MO do solo e sua alta correlação com COS, N e P. Ca e Mg também apresentaram altas correlações entre si. A macrofauna, como indicador biológico, foi escassa especialmente na estação seca, o que sugeriu a degradação do solo. O DCRF foi estatisticamente maior na estação das chuvas nas três primeiras profundidades, enquanto na estação seca foi homogêneo em quase todos eles. A distribuição vertical de raízes

finas (<3 mm), extractor de nutrientes, indicou una importante exploración até 140 cm de profundidade.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, macrofauna, diagnóstico nutricional.

## Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.), es un agroecosistema que genera una emisión de carbono (C) equivalente al 20% de la quema de combustible fósil en México (Morales, 2011). Su manejo es de baja sustentabilidad ambiental; sin embargo, actualmente mantiene una alta sustentabilidad social y económica (Carrillo *et al.*, 2008). En este cultivo ocurren problemas como la pérdida de materia orgánica (MO) y la alta emisión de C que se da por la quema y requema de la caña para facilitar su cosecha e inicio de ciclo (Morales, 2011). La MO es importante en suelos agrícolas porque mejora la productividad de los cultivos y es el mejor indicador de la calidad de un suelo; está formada por los componentes vivos, raíces, macro y microorganismos; es fuente de energía y hábitat específico para la biomasa edáfica (Julca-Otiniano *et al.*, 2006). Por ello, es necesario realizar diagnósticos oportunos a través de análisis físicos, químicos y biológicos (Etchevers y Volke, 1991).

La calidad del suelo es definida como la “capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo”. En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades de éste para estimar su capacidad para realizar funciones básicas como mantener la productividad, regular y

## Introduction

Sugarcane (*Saccharum* spp.), is an agro-ecosystem that generates carbon emission (C) equal to 20% fossil fuel burning in Mexico (Morales, 2011). Its management has low environmental sustainability; however, currently it has high social and economic sustainability (Carrillo *et al.*, 2008). In this research, there are problems such as the loss of the organic matter (OM) and the high emission of C due to the burn of sugarcane toe ase its crop and beginning of the cycle (Morales, 2011). OM is important in agricultural soil since these improve the crop productivity and is the best indicator of soil quality; it is formed by living components, roots, macro and microorganisms, it is source of energy and specific habitat for the soil biomass (Julca-Otiniano *et al.*, 2006). For that reason it is necessary to perform appropriate diagnoses through physical, chemical and biological analyses (Etchevers and Volke, 1991).

The soil quality, defined as “the functioning capacity of a type of soil” is generally evaluated by measuring a minimal group of information related to its properties to stimate its capacity to perform basic functions such as: keep the productivity, regulate and divide water and solute flow, filter and buffer against contaminants, store and recycle nutrients, being one of the most commom properties the OM, its

separar agua y flujo de solutos, filtrar y tamponar contra contaminantes, y almacenar y reciclar nutrientes, siendo unas de las propiedades más comunes la MO, sus componentes, la macrofauna edáfica y la DLRF que a su vez, están relacionadas con la profundidad; la mayor exploración de las raíces finas y desarrollo en número de organismos edáficos se observa en las capas superficiales, notándose una disminución a partir de los 30 cm (Bastidas *et al.*, 2011).

La MO es precursora de las diferentes formas de C del suelo, factor clave en la fertilidad, tiene una marcada influencia sobre la biota edáfica y, bajo un manejo racional, contribuye con una importante cantidad de nutrientes al suelo (Bautista *et al.*, 2004). Los indicadores químicos, físicos y microbiológicos en los suelos cañeros, disminuyeron de forma progresiva al realizar la cosecha de forma manual, la quema y requema de los residuos es la causa principal (Armida *et al.*, 2005). Si se evita este manejo, se utiliza cachaza y una dosis de fertilización adecuada, se incrementan el rendimiento, la MO y la fertilidad del suelo (Salgado-García *et al.*, 2003; Arreola *et al.*, 2004).

La macrofauna edáfica está constituida por organismos que tienen la función de modificar el suelo, ya sea por sus movimientos o por sus hábitos alimenticios (Álvarez e Ignacio, 2007), desempeña varias funciones que favorecen su estructura, fertilidad, infiltración y mineralización de los nutrimentos (Lang-Ovalle *et al.*, 2011), además de la recuperación

components, the edaphic macrofauna and FRLD which, in turn, are related with depth; the highest exploration of fine roots and development in number of edaphic organisms is observed in the superficial layers, highlighting a reduction after 30 cm (Bastidas *et al.*, 2011).

OM is the responsible of the different sources of C of the soil, key factor in the fertility, with a marked influence on the soil biota, and with a rational handle it contributes to an important quantity of soil nutrients (Bautista *et al.*, 2004). The chemical, physical and microbiological indicators in sugarcane soils reduced progressively when performing the harvest manually, and the burn of residues is the main cause (Armida *et al.*, 2005). If this handle is avoided, cachaza and an adequate fertilization dose are used, the yield increases as well as the OM, and the soil fertility (Salgado-García *et al.*, 2003; Arreola *et al.*, 2004).

Soil macro-fauna is constituted by organisms with the aim of modifying the soil, either by their movements or by their food habit (Álvarez and Ignacio, 2007); it has different functions that favor its structure, fertility, infiltration and mineralization of the nutrients (Lang-Ovalle *et al.*, 2011), besides the recovery of degraded areas (Lavelle *et al.*, 2006). Geissen and Morales (2005) considered that micro-fauna was a good indicator to evaluate the soil quality, since it recognized the impacts caused by handling practices.

In a research of soil macro-fauna plantations of mango and sugarcane were compared, finding a slight variation in the frequency

de áreas degradadas (Lavelle *et al.*, 2006). Geissen y Morales (2005) consideraron que la macrofauna fue un buen indicador para evaluar la calidad del suelo, ya que reaccionó a los impactos causados por prácticas de manejo.

En un estudio de macrofauna edáfica se compararon plantaciones de mango y caña de azúcar, encontrándose una ligera variación en la frecuencia de invertebrados (40 y 37%) y una correlación positiva entre la riqueza de éstos y la MO en el horizonte A, que se atribuyó a la tolerancia de la macrofauna al manejo de la caña (Lang-Ovalle *et al.*, 2011). La fauna edáfica es importante porque participa en los procesos de descomposición en ecosistemas naturales y manejados, logrando así mejorar la calidad de suelo (Méndez y Equihua, 2001).

La interacción entre la macrofauna edáfica y la biomasa vegetal es fundamental en el ciclaje de carbono, en estudios realizados en el agroecosistema de caña se encontró que *Podischnus agenor* Oliver, además de ser el mayor consumidor de residuos de cosecha, aporta beneficios positivos al cultivo, siempre y cuando no se le restrinja el acceso a material que satisfaga sus requerimientos alimentarios (Stechauner y Madrinan, 2013).

Por su parte, las raíces finas son importantes para extraer nutrimentos del suelo (Cudlin *et al.*, 2007), además de funcionar como órganos de reserva de éstos, son encargadas de regular la fisiología de la planta, fijar carbono y ayudar en la aireación del suelo (Azevedo *et al.*, 2011).

of invertebrates (40 and 37%) and a positive correlation between their richness and the OM in the horizon A, attributed to the tolerance of the macro-fauna in the handle of the cane (Lang-Ovalle *et al.*, 2011). The edaphic fauna is important because it participates in the decomposition processes in natural and handled ecosystems, obtaining a better quality of the soil (Méndez y Equihua, 2001).

The interaction between the edaphic macro-fauna and the plant biomass is essential in the recycling of carbon; it was found in studies performed in the agro-ecosystem of cane that *Podischnus agenor* Oliver, besides being the highest consumer of harvest residues, it provides positive benefits to the crop, as long as the access to material that would satisfy its food requirements is not restricted (Stechauner and Madrinan, 2013).

On the other hand, the fine roots are important to extract the soil nutrients (Cudlin *et al.*, 2007), and besides of functioning as reservoir organs these are in charge of regulating the plant physiology, fixing carbon and helping in the soil airing (Azevedo 2011).

Because of the latter, the aim of this research was to analyze in two seasons of the year the indicators of the soil quality in sugarcane agro-ecosystems after the characterization and the soil nutrient diagnose and the fine root length density.

## Materials and method

### Area under research

The research was carried out from July 2011 to April 2012, in the cane region of Chontalpa, Tabasco, in the

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar en dos épocas del año, indicadores de calidad edáfica del agroecosistema caña de azúcar a partir de la caracterización y el diagnóstico nutrimental del suelo y la densidad de longitud de raíces finas.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó de julio de 2011 a abril de 2012 en la región cañera de la Chontalpa, Tabasco, en el campo experimental (km 21) del Campus Tabasco-CP (17°59'10,90" y 93°35'29,64"; 11 msnm), municipio de Cárdenas, donde el clima característico del trópico húmedo se clasifica como cálido húmedo Am(g)"w", con un promedio anual de temperatura de 26 °C y precipitación de 2324 mm, siendo menor de 50 mm en los meses secos (marzo y abril) y de alrededor de 400 mm en los lluviosos (septiembre y octubre) (García, 1988). En Tabasco se presentan tres épocas climáticas: la seca, que va de febrero a abril, y dos húmedas: lluvias, de mayo a octubre, y nortes, de noviembre a enero, en la cual se presentan vientos boreales y frentes fríos sobre la planicie costera del golfo (Ruíz-Álvarez *et al.*, 2012).

Fisiográficamente la zona corresponde a una llanura aluvial baja del Cuaternario Reciente con sedimentos profundos acarreados de la Sierra Norte de Chiapas por numerosos ríos y arroyos que surcan la zona. La mayoría de los suelos de la llanura aluvial presentaron alta fertilidad natural y son ricos en casi

experimental field (Km 21) Tabasco-CP (17°59'10,90" and 93°35'29,64"; 11 masl), Cárdenas municipality, where the weather is tropical humid, classified as warm humid Am(g)"w", with an annual temperature average of 26 °C and precipitation of 2324 mm, being lower to 50 mm in the dry months (March and April) and from 400 mm in the rainy months (September and October) (García, 1988). There are three weather seasons in Tabasco: dry season, from February to April, and two humid: rains from May to October, and north from November to January, in which boreal winds and cold air are presented in the coast plain of the Golf (Ruíz-Álvarez *et al.*, 2012).

Physiographically, the area corresponds to the low alluvial plain of recent quaternaries with deep sediments entailed from the North Mountain of Chiapas by different rivers and streams that cross the area. Most of the soils of the alluvial plain presented high natural fertility and are rich in almost all the nutrients required by plants; however, responses were detected, mainly by the provision of N and P in most of the crops; even though these are deep soils, the roots of the crops had anchoring problems since the groundwater layer was close to the soil profile (Palma *et al.*, 2007).

The cane crop belongs to the soca cycle, Mex 69-290 variety, with a yield of 64 t·ha<sup>-1</sup> of miller steams; the harvest was done manually after the burn, the residual (top of the cane and shoots) was burned to allow the advance of machinery; a fertilization dose of 120-60-60 was applied at two months and a half of the regrowth. Samples were

todos los nutrimentos requeridos por las plantas, aunque se detectaron respuestas principalmente al aporte de N y P en la mayoría de los cultivos; si bien son suelos profundos, las raíces de los cultivos tuvieron problemas de anclaje debido a que el manto freático siempre se encontró cercano a la superficie del suelo (Palma *et al.*, 2007).

El cultivo de caña pertenece al ciclo soca, variedad Mex 69-290, que tuvo un rendimiento de 64 t·ha<sup>-1</sup> de tallos molederos, la cosecha se realizó de forma manual después de la quema, la basura (punta de caña y chupones) se quemó para permitir el avance de la maquinaria durante el subsoleo, se aplicó una dosis de fertilización de 120-60-60 a los dos meses y medio del rebrote. Los muestreos se realizaron después de la cosecha. El manejo agronómico que se dio a la parcela fue el que se recomendó para la región (Obrador, 2009).

### **Caracterización de la unidad de suelo**

Se seleccionó una plantación de caña de azúcar de aproximadamente 20 años de edad; para la descripción de la unidad de suelo, se realizó una calicata de 1,80 m de profundidad (Cuanalo, 1990) y su clasificación se refirió a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS-WRB, 2007).

Se tomó una muestra de cada uno de los seis horizontes de diagnóstico, para ser transportadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, donde se realizaron los siguientes análisis: pH con CaCl<sub>2</sub> (1:2), MO por el método combustión

carried out after the harvest. The agricultural handle performed in the plot was the one recommended for the region (Obrador, 2009).

### **Characterization of the soil**

A 20-year-old sugarcane plantation was selected, and a soil pit of 1.80 m of depth was performed for describing the soil unit (Cuanalo, 1990) and its classification was done according to the Worldwide Reference Base of the Soil Resource (IUSS-WRB, 2007).

A sample from each of the six diagnose horizons was taken to be transported to the Analysis Laboratory of Soils, Plants and Water (ALSPW) from the Post-Graduate Studies, Tabasco campus, where the following analyses were carried out: pH with CaCl<sub>2</sub> (1:2), OM by Walkley and Black humid combustion method, total nitrogen (TN) through Kjeldahl semi-micro (modified to include nitrates), Olsen available phosphorous (neutral and alkaline soils), cationic interchange capacity (CIC), interchangeable bases and texture by Bouyoucos, according to the methodology of the Official Mexican Norm (NOM-021-RECNAT, 2000).

### **Nutrient diagnose of the soil**

Samples composed by 15 sub-samples were obtained, each from two depths 0-30 and 30-50 cm, with Dutch-type barrier, taken at random (zig-zag) covering all the land. Samples were prepared to perform the analyses of: pH in water with a relation 1:2, MOS, texture, CIC, soluble organic carbon (SOC), nitrogen (N), Olsen P, potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) in LASPA (NOM-021-RECNAT, 2000).

húmeda de Walkley y Black, nitrógeno total (Nt) mediante Semi-micro Kjeldahl (modificado para incluir nitratos), fósforo (P) disponible Olsen (suelos neutros y alcalinos), capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables y textura por Bouyoucos, según la metodología de la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT, 2000).

### **Diagnóstico nutrimental del suelo**

Se obtuvieron muestras compuestas por 15 submuestras cada una en dos profundidades 0-30 y 30-50, cm con barrena tipo holandesa, tomadas aleatoriamente (en zig-zag) abarcando todo el terreno. Se prepararon para realizar análisis de: pH en agua relación 1:2, MOS, textura, CIC, carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), P Olsen, potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el LASPA (NOM-021-RECNAT, 2000).

### **Determinación de los indicadores biológicos**

Para la determinación de la macrofauna edáfica se tomaron muestras de suelo de las cuatro caras de calicatas abiertas en las épocas húmeda y seca, hasta una profundidad de 60 cm, con ayuda de cubos metálicos de 25 cm de largo x 25 cm de ancho y 20 cm de alto, abiertos en la parte superior e inferior (Schlegel *et al.*, 2000). Las muestras se colocaron en bolsas de plástico con su identificación correspondiente y fueron llevadas al Laboratorio de Entomología del Campus Tabasco, donde los organismos edáficos fueron separados del suelo, depositados en

### **Determination of the biological indicators**

For determining the soil macrofauna soil samples were taken from four open soil pits in humid and wet seasons until a depth of 60 cm, using metallic tubes of 25 cm length x 25 cm width and 20 cm height, open in the superior and inferior sides (Schlegel *et al.*, 2000). Samples were put on plastic bags with their corresponding identification, and were taken to the Entomology Laboratory, Tabasco campus, where the edaphic organisms were separated from the soil and put on jars with alcohol at 70% and labeled. Twelve soil samples were revised by each season, 24 in total. The collected organisms were identified and divided in the main taxonomic groups (Class and Orden) (USDA, 1999).

### **Vertical distribution of the fine root length density (FRLD) and soil fertility**

Four soil pits were opened until reaching a depth of 1.60 m during the dry season (April) and four during the rainy season (August), samplings were performed every 20 cm. The dimensions of the monoliths used were: 7 cm length x 7 cm width and 20 cm height. Soil samples were put on polyethylene bags, identified and transported to the Herbarium CSAT of the campus Tabasco, in which fine roots with a diameter inferior to 3 mm were separated from the soil (Cuanalo, 1990), washed using Böhm method (1979), measured, dried using a stove at 70 °C until obtaining constant weight and weighted in a balance ( $\pm 0.0001$  g). In the same profiles, a similar sampling was done to know



frascos con alcohol al 70% y etiquetados debidamente. Se revisaron 12 muestras de suelo por cada época, 24 en total. Los organismos recolectados fueron identificados y separados en los principales grupos taxonómicos (Clase y Orden) (USDA, 1999).

### **Distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLRF) y fertilidad del suelo**

Se abrieron cuatro calicatas hasta una profundidad de 1,60 m en la época de seca (abril) y cuatro en la época de lluvias (agosto), se realizaron muestreos cada 20 cm. Las dimensiones de los monolitos utilizados fueron: 7 cm de largo x 7 cm de ancho y 20 cm de alto. Las muestras de suelo, fueron colocadas cuidadosamente en bolsas de polietileno, identificadas y transportadas al Herbario CSAT del Campus Tabasco, en donde las raíces finas, de diámetro inferior a 3 mm, fueron separadas del suelo (Cuanalo, 1990), lavadas a mano por el método de Böhm (1979), medidas, secadas en estufa a 70 °C hasta peso constante y pesadas en balanza de precisión ( $\pm 0,0001$  g). En esos mismos perfiles se realizó un muestreo similar al anterior para conocer la fertilidad vertical del suelo, los análisis realizados y los métodos fueron los mismos que se indicaron para el diagnóstico nutrimental del suelo.

### **Diseño experimental y tratamientos**

Se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial en el que se consideraron dos épocas (seca y húmeda), cuatro perfiles por cada

the vertical fertility of the soil, the analyses performed and the methods were the same as indicated for the nutrient diagnose of the soil.

### **Experimental design and treatments**

A completely randomized design with a factorial arrangement was used, considering two seasons (dry and humid), four profiles for each of them and eight depths for each profile. The variables analyzed were: OM, pH, texture, CIC, SOC, N, Olsen P, K Ca and Mg (NOM-021-RECNAT, 2000).

### **Analysis of the information**

A variance analysis (ANOVA) was done to the results, and Tukey means test was performed, when necessary (Tukey, 0.05). Pearson correlation analysis was used to determine the association degree among the variables Nt, MO, SOC, P, interchangeable bases, CIC and pH.

## **Results and discussion**

### **Characterization of the soil**

The soil was classified as Stagnic (Eutric) Vertisol, which is one of the most common in the cane area of Tabasco plain. It showed cracks with 1 cm width and 50 cm depth during the dry season, which closed with the humidity and showed expansion and contraction processes (Palma *et al.*, 2007). In table 1 is observed the description and vertical behavior of the chemical properties of the soil profile, and according to the values established in the Mexican norm NOM-021-RECNAT, 2000 the N content varied from medium (0-21 cm) to low (21-38 cm) and very low (38-180

una de ellas y ocho profundidades por cada perfil. Las variables analizadas fueron: MO, pH, textura, CIC, COS, N, P Olsen, K, Ca y Mg (NOM-021-REC NAT, 2000).

### **Análisis de los datos**

A los resultados se les realizó análisis de la varianza (ANOVA) y en caso de ser necesario pruebas de comparación de medias (Tukey, 0,05). Para determinar el grado de asociación entre variables, se estableció un análisis de correlación de Pearson entre las variables Nt, MO, COS, P, bases intercambiables, CIC y pH. El análisis de datos se realizó utilizando el programa SAS (2001).

## **Resultados y discusión**

### **Caracterización del suelo**

El suelo se clasificó como Vertisol Stagnico VRst (Éutrico), que es uno de los más comunes en la zona cañera de la planicie de Tabasco. Mostró grietas de 1 cm de ancho hasta 50 cm de profundidad en la época seca que se cerraron con la humedad, y evidenciaron procesos de expansión y contracción (Palma *et al.*, 2007). En el cuadro 1 se observa la descripción y el comportamiento vertical de las propiedades químicas del perfil de suelo de acuerdo con los valores establecidos en la norma mexicana NOM-021-REC NAT, 2000 el contenido de N varió de medio (0-21 cm) a bajo (21-38 cm) y muy bajo (38-180 cm); el P de bajo a medio, el K se mantuvo bajo, disminuyendo ligeramente conforme a la profundidad; la MO fue baja a muy baja entre los 61 y 180 cm.

cm); P from low to medium, K kept low, reducing slightly with the depth; OM was low to very low, from 61 to 180 cm.

### **Diagnose of the soil nutrients**

The content of nutrients (table 2) varied from medium to very low (NOM-021-REC NAT, 2000). The chemical properties and OM were similar in the two depths (0-30 and 30-60), only P showed difference in the content among them. Pla (1995) mentions that the degradation processes are being affected throughout the years by the burn of cane during harvesting and the post-harvest residues, which originated that OM kept in low levels in cane soils. P content was high in the first depth, reducing until 30-50 cm, behavior related to the fertilization and revealed a continuous accumulation of this element; reason for which it is important to consider that for the yields obtained, the phosphate fertilization doses might be lower (Mengel and Kirkby, 2000). These results agree with the ones found by Salgado-García *et al.* (2009) in other cane areas of the country.

The low content of K in the two depths constituted a problem since K is the nutrient that sugarcane needs in big quantities, since it intervened in the processes of sugar and starch synthesis, transportation of sugar, synthesis of proteins and enzymatic stimulation (Mengel and Kirkby, 2000). Salgado-García *et al.* (2010) had similar results in the same soil unit, indicating the need of improving the applications in the doses to improve the quality of juices (sacharose contents).

**Cuadro 1. Descripción del perfil y resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de suelo del agroecosistema caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México. 2017.**  
**Table 1. Profile description and results of the physical-chemical analysis of the soil samples of sugarcane agroecosystem in Chontalpa, Tabasco, Mexico. 2017.**

Perfil	Prof. (cm)	Descripción
Manto freático: 180 cm. Drenaje del perfil: pobremente drenado. Relieve: convexo-cóncavo.		Material parental: cuaternario reciente. Flora: arvenses de cama. Aplicación de: fertilizante químico. Prácticas de manejo con maquinaria.
	0-21	Color de la matriz del suelo 10 YR 4/2 café grisáceo oscuro. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura: ligeramente pegajosa. Estructura moderadamente desarrollada, de forma poliédrica angular y prismática muy fina. Cutanes: elevación discontinuos, delgados, verticales. Poros: pocos discontinuos caóticos vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: pocas, finas y delgadas. Fauna: hormigas, túneles de lombriz. pH: 3.
	21-38	Color 10YR 4/2 café grisáceo oscuro. Transición: tenue. Húmedo. Moteado color 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura, ligeramente pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, de forma poliédrica angular y prismática, muy fina. Cutanes por planchado, por presión, discontinuos, delgados verticales. Poros: pocos, discontinuos, caóticos, vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. pH: 3. Raíces: pocas, finas y delgadas. Fauna: túnel de lombriz.
	38-60	Color 10YR 4/1 gris oscuro. Transición: tenue. Húmedo. Moteado color 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura: ligeramente pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, media. Cutanes: por planchado, continuos, moderadamente espesos. Poros: pocos, discontinuos, caóticos y vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: rara, finas, delgadas. pH: 3.
	60-102	Color de la matriz de suelo: 2.5Y 5/1 gris. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura: pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, fina y media. Cutanes: planchado por presión continua moderadamente espeso vertical. Poros: frecuente discontinuos caóticos vesicular. Permeabilidad: muy lenta. pH: 4. Raíces: rara delgadas.
	102-155	Color de la matriz de suelo: 2.5Y 5/1 gris. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: ligeramente dura a muy dura: pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, de tamaño fino y medio. Cutanes: planchado continuo espeso vertical. Poros frecuentes, discontinuos, caóticos, vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. pH: 5. Raíces: raras, finas y delgadas.
	155-180	Color de la matriz de suelo: 2.5Y 5/1 gris. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: ligeramente dura a muy duro: pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, muy fina y media. Cutanes. Planchado, discontinuos, delgados horizontales. Poros: frecuentes, discontinuos, caóticos, vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. pH 6. Raíces: muy raras, delgadas.

Abreviatura: Prof.= profundidad.



**Cuadro 1. Descripción del perfil y resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de suelo del agroecosistema caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México. 2017 (Continuación).**  
**Table 1. Profile description and results of the physical-chemical analysis of the soil samples of sugarcane agroecosystem in Chontalpa, Tabasco, Mexico. 2017 (Continuation).**

Prof. (cm)	%										Clase textural	CIC	Na	K ( $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ )	Ca	Mg	P $\text{mg kg}^{-1}$	pH	COS abs	
	N	C0	MO	R	L	A	A	CIC	Na	K										Ca
0-21	0,11	0,89	1,53	34	29	37							17,9	0,33	0,30	14,82	7,43	4,22	5,19	0,266
21-38	0,08	0,70	1,20	38	29	33							18,4	0,42	0,22	16,06	8,57	9,57	5,11	0,153
38-61	0,04	0,62	1,07	48	23	29							24,0	0,50	0,24	18,86	11,07	1,97	5,47	0,076
61-101	0,04	0,35	0,60	46	25	29							24,0	0,51	0,22	17,14	11,16	3,24	5,72	0,040
101-155	0,04	0,27	0,47	42	33	25							25,7	0,46	0,25	18,00	13,13	6,19	5,69	0,038
155-180	0,06	0,23	0,40	42	33	25							24,0	0,48	0,24	17,92	12,80	5,91	5,81	0,039

Abreviatura: Prof.= profundidad.

**Diagnóstico nutrimental del suelo**

El contenido de nutrientes (cuadro 2) varió de medio a muy bajo (NOM-021-REC/NAT, 2000). Las propiedades químicas y la MO fueron similares en las dos profundidades (0-30 y 30-60), solo el P mostró diferencia de contenido entre ellas. Pla (1995) mencionó que los procesos de degradación se vieron perjudicados a lo largo de los años por la quema de la caña durante la zafra y de los residuos post-cosecha, lo que originó que la MO se mantuviera en niveles bajos en suelos cañeros. El contenido de P fue alto en la primera profundidad, disminuyendo hacia los 30-50 cm, comportamiento relacionado con el historial de fertilización y reveló

The total N presented low to very low contents according to the depth. An adequate handle of sugarcane residues favored the development of the mineralization processes and release of inorganic N in the soil, that even though it was not enough for supplying the demand of NO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub> of the crop, it contributed to the supply of N. Salgado-García *et al.* (2009) found that in the area under research, the doses of nitrogen fertilization for an average yield of 80 t of steams fluctuated from 130 and 160 kg·ha<sup>-1</sup>, values that mainly depend from the soil unit.

Pérez *et al.* (2010) mentioned that the OM was the parameter that best explained the response to the applications of N; 1.14 kg were

**Cuadro 2. Propiedades químicas en dos profundidades: 1) 0-30 cm y 2) 30-50 cm, de un Vertisol Estágnico (VRst) (Éutrico) bajo cultivo de caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México.**

**Table 2. Chemical properties in two depths: 1) 0-30 cm and 2) 30-50 cm, of a Stagnic (Eutric) Vertisol VRst under sugarcane crop in Chontalpa, Tabasco, Mexico.**

Nutriente (unidad)	Prof. 1	Clase*	Prof. 2	Clase*
MO (%)	1,33	B	1,18	B
CO (abs)	0,189		0,23	
P (mgk·g <sup>-1</sup> )	14,59	A	5,43	B
CIC (cmol <sub>(+)</sub> k·g <sup>-1</sup> )	17,30	M	17,03	M
K (cmol <sub>(+)</sub> k·g <sup>-1</sup> )	0,08	MB	0,08	MB
Ca (cmol <sub>(+)</sub> k·g <sup>-1</sup> )	3,53	B	3,25	B
Mg (cmol <sub>(+)</sub> k·g <sup>-1</sup> )	0	MB	0	MB
Nt (%)	0,10	B	0,08	MB
pH	5,70	Ma	5,60	Ma

Clase\*\* A= alto; M= media; B= bajo; MB= muy bajo; Ma= moderadamente ácido. (NOM-021-REC/NAT, 2000).

una acumulación continua de este elemento, por lo que es importante considerar que para los rendimientos obtenidos, las dosis de fertilización fosfatada podrían ser menores (Mengel y Kirkby, 2000). Estos resultados coincidieron con los encontrados por Salgado-García *et al.* (2009) en otras zonas cañeras del país.

El muy bajo contenido de K en las dos profundidades constituyó un problema ya que el K es el nutrimento que la caña de azúcar necesita en mayor cantidad, debido a que interviene en los procesos de síntesis del azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estimulación enzimática (Mengel y Kirkby, 2000). Salgado-García *et al.* (2010) tuvieron resultados similares en la misma unidad de suelo, indicando la necesidad de mejorar las aplicaciones en las dosis para mejorar la calidad de los jugos (contenidos de sacarosa).

El N total presentó contenidos de bajos y muy bajos, conforme a la profundidad. Un manejo adecuado de los residuos de la caña de azúcar favoreció el desarrollo de procesos de mineralización y liberación de N inorgánico en el suelo, que si bien no fue suficiente para abastecer la demanda de  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  del cultivo, sí contribuyó de manera importante en el suministro de N. Salgado-García *et al.* (2009) encontraron que en la zona de estudio, las dosis de fertilización nitrogenadas para un rendimiento promedio alrededor de 80 t de tallos

required of N for soils with low contents of OM (<3.0%) for each ton of cane produced; however, in soils with medium or high contents, the quantity of N required by ton of sugarcane was lower (1.0 kg), this affirmed the fact that OM is an important factor for the environmental, economic and social sustainability.

### **Chemical and biological indicators**

The highest values of N corresponded to the first horizon in the two seasons under research (figure 1a) and were influenced by the presence of OM mainly found in the superficial horizon of the soil (Espinoza, 2010). None significant differences were found between seasons and depths ( $P>0.05$ ), since the highest decomposition speed of OM and provision of nutrients in tropical areas were mainly related to an increment of precipitation (Sánchez-Hernández *et al.*, 2011).

CO presented the highest values in the first two horizons in the two seasons (figure 1b), which were statistically different ( $P>0.05$ ) to the rest of the depths.

Since OM and CO were related, it was not strange that these had similar behavior. Tendencies with higher values in the humid season were observed compared to the dry, in which less soil biota activity was expected, but also lower extraction of nutrients of sugarcane by lack of water.

Values of CO found in this research in the first depths (0.9 and 0.8%) were lower to the reported by Sánchez-Hernández *et al.* (2011) for soils

molederos, fluctuaron entre 130 y 160 kg ha<sup>-1</sup>, valores dependientes principalmente de la unidad de suelo.

Pérez *et al.* (2010) mencionaron que la MO fue el parámetro que mejor explicó la respuesta a las aplicaciones de N; para suelos con contenidos bajos de MO (<3,0%) se requirió de 1,14 kg de N por cada tonelada de caña producida; sin embargo, en suelos con contenidos medios o altos, la cantidad requerida de N por tonelada de caña de azúcar fue menor (1,0 kg), esto afirmó el hecho de que la MO es un factor importante para la sustentabilidad ambiental, económica y social.

### **Indicadores químicos y biológicos**

Los valores más altos de N correspondieron al primer horizonte en las dos épocas en estudio (figura 1a) y estuvieron influenciados por la presencia de la MO que se encontró mayormente en el horizonte superficial del suelo (Espinoza, 2010). No se encontraron diferencias estadísticas entre épocas y profundidades ( $P>0,05$ ), ya que la mayor velocidad de descomposición de MO y aporte de nutrimentos en zonas tropicales se relacionó generalmente con el incremento de la precipitación (Sánchez-Hernández *et al.*, 2011).

El CO presentó valores más altos en los dos primeros horizontes en las dos épocas (figura 1b), los cuales fueron diferentes estadísticamente ( $P>0,05$ ) al resto de las profundidades.

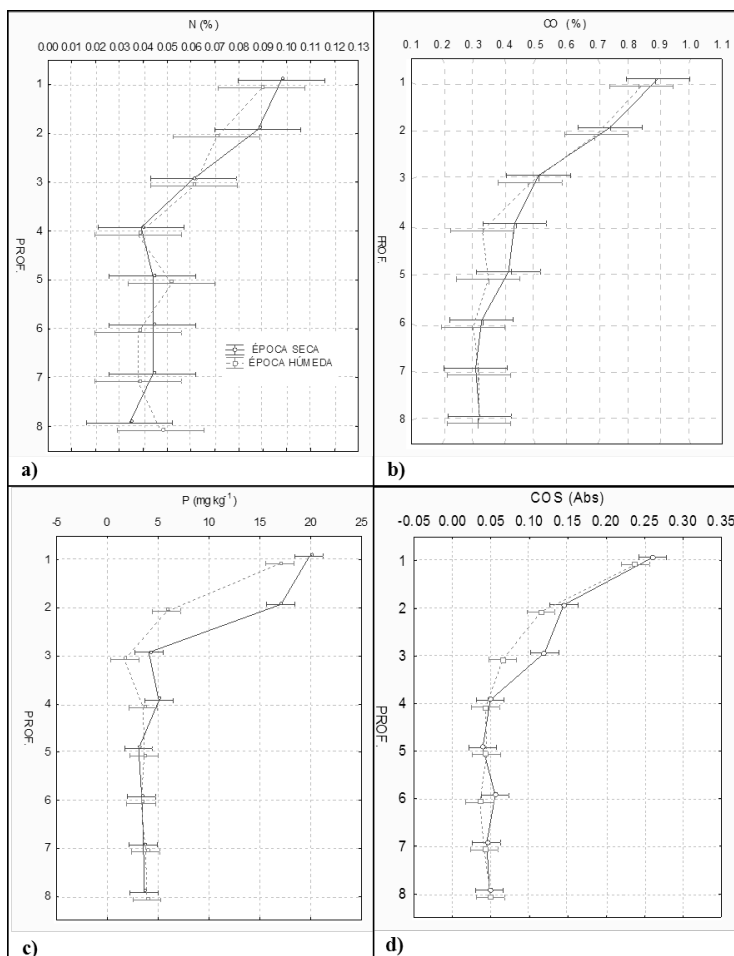
Como la MO y el CO estuvieron muy relacionados, no fue extraño

with different agricultural use in the Mexican Tropic, where CO varied from 2.85 and 7.01% in the first horizon. It is important to consider as priority for the crop of sugarcane the increment of OM of the soil, since its loss results in a reduction of biological activity, damage of the physical activities, low supply of nutrients, and in long term, a reduction of the productivity. The inclusion of preservation practices and incorporation of residues have been important in highly demanding crops of nutrients, such as the case of sugarcane.

Values of P were higher in the first horizons in both seasons studied (figure 1c) without significant differences ( $P>0.05$ ) between depths, except the one in the second depth of the dry season which was statistically different to the one of the humid season. P is an element with little mobility and it can be found in higher concentrations of the superior area of the soil, as well as in medium and high values in agricultural soils (Salgado-García *et al.*, 2009). The high contents of P found in the current research for the first depth agreed to the reported by Salgado-García *et al.* (2003, 2005, 2010).

The applications (constant) of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (60 kg ha<sup>-1</sup>) have propitiated that in sugarcane soils could be found P-Olsen values located in medium and high levels. The adjustment to the fertilization norms will be done considering the yields expected, which should be approximately 80 t ha<sup>-1</sup> of grinder steams (Obrador, 2009).

The values of SOC were higher in the first depth in both seasons, the



**Figura 1. Comportamiento de los contenidos de a) N [F (7,48)= 0,55520, P= 0,78808]; b) CO [F (7,48)= 0,26026, P= 0,96620]; c) P [F (7,48)= 16,042, P= 0,00000]; d) COS [Efecto principal para arena (A): F (7,48)= 2,4158, P= 0,03339] en el suelo de un agroecosistema caña de azúcar (0-160 cm; cada unidad equivale a 20 cm de profundidad) en las época seca y húmeda. Las barras horizontales indican intervalos de confianza (0,95).**

**Figure 1. Content behavior of a) N [F (7.48)= 0.55520, P= 0.78808]; b) CO [F (7.48)= 0.26026, P= 0.96620]; c) P [F (7.48)= 16.042, P= 0.00000]; d) SOC [main effect for the sand (A): F (7.48)= 2.4158, P= 0.03339] in the soil of a sugarcane agroecosystem (0-160 cm; each unit is equal to 20 cm of depth) during dry and wet seasons. (Horizontal bars indicate trustable intervals (0.95).**



que tuvieran un comportamiento similar. Se observaron tendencias que mostraron valores más altos en la época húmeda en comparación con la seca, donde se esperaría menor actividad de la biota del suelo, pero también menor extracción de nutrientes de la caña de azúcar por falta de agua.

Los valores de CO encontrados en este estudio en las dos primeras profundidades (0,9 y 0,8%) fueron menores a los reportados por Sánchez-Hernández *et al.* (2011) para suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano, donde el CO varió entre 2,85 y 7,01% en el primer horizonte. Es importante considerar como prioritario para el cultivo de caña de azúcar el incremento de la MO del suelo, ya que su pérdida resulta en un descenso de la actividad biológica, un deterioro de las propiedades físicas, un bajo suministro de nutrientes y, a largo plazo, la disminución de la productividad. La inclusión de prácticas de conservación e incorporación de residuos han sido particularmente importantes en cultivos altamente demandantes de nutrientes, como es el caso de la caña de azúcar.

Los valores de P fueron más altos en los primeros horizontes en las dos épocas estudiadas (figura 1c), sin diferencias estadísticas ( $P>0,05$ ) entre profundidades, con la salvedad de que el de la época seca de la segunda profundidad fue estadísticamente diferente a su similar de la época húmeda. El P es un elemento poco móvil por lo que no es extraño encontrarlo en concentraciones más

highest content was found in the dry season. There were not significant differences ( $P>0,05$ ) among both seasons (figure 1d), but the behavior was similar reducing at a higher depth, this due to the reduction of OM. In the humid season, the first depth was equal ( $P>0,05$ ) which was similar to the dry season, but both were different ( $P<0,01$ ) from the rest in both seasons. SOC was one of the most trustable variables to estimate the mineralization of OM of the soil, and even though it corresponds to a very low percentage and was very dynamic, it allows making inferences related to the availability of other mineral nutrients (Larson and Narain, 2001).

In table 3 is presented the correlation matrix among the different chemical variables studied, some correlated well among them; SOC and N were the best relating among each other with OM; however, P and pH also had high determination coefficient values ( $R^2$ ). The interchange bases of Ca and Mg showed high correlations among them ( $R^2= 0.880$ ). Similar behaviors for these variables (MO, COS, N, Ca and Mg) have been reported by other authors (Rodríguez, 1982; Pérez *et al.*, 2010), assuming the fact that the soil presented similar dynamics or chemical affinity (by anions) in the case of the bases, or by being important components of the organic complex of OM.

In figure 2 is presented the behavior of the macrofauna of the studied sugarcane soil, the few organisms were located in the first two depths (0-20 and 20-40 cm). The limited macrofauna of the area was due to the

altas en la parte superior del suelo, como tampoco lo fue encontrarlo en valores medios y altos en suelos agrícolas (Salgado-García *et al.*, 2009). Los altos contenidos de P encontrados en el presente estudio para la primera profundidad, coincidieron con los reportados por Salgado-García *et al.* (2003, 2005, 2010). El historial de aplicaciones (constantes) de  $P_2O_5$  ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ha propiciado que en suelos cañeros se encuentren valores de P-Olsen que se ubicaron en los niveles medios y altos. El ajuste de las normas de fertilización tendrá que realizarse en consideración de los rendimientos esperados, los cuales deberían estar en el orden de las  $80 \text{ t ha}^{-1}$  de tallos molderos (Obrador, 2009).

Los valores de COS fueron más altos en la primera profundidad en las dos épocas, el mayor contenido se encontró en la seca. No hubo diferencia estadística ( $P>0,05$ ) entre las dos épocas (figura 1d), pero el comportamiento fue similar, disminuyendo a mayor profundidad, esto debido al descenso de la MO. En la época húmeda la primera profundidad fue igual ( $P>0,05$ ) a su similar de la seca, pero ambas fueron diferentes ( $P<0,01$ ) del resto en ambas épocas. El COS fue una de las variables más confiables para estimar la mineralización de la MO del suelo, aunque corresponde a un porcentaje muy bajo y fue muy dinámico, permitió hacer inferencias relacionadas con la disponibilidad de otros nutrientes minerales (Larson y Narain, 2001).

En el cuadro 3 se muestra la matriz de correlación entre las diferentes variables químicas estudiadas,

soil degradation, which was related to the loss of OMS, as a consequence of the periodic losses, the mechanical damage that implied intensive tilling and specially the application of biocides (Elliot and Lynch, 1994). However, there are other factors that may influence the scarcity, such as the structure, the pH and water erosion of the soil, consequences of the loss of vegetal cover in the crop (Foth, 1979).

In figure 3 is presented the FRLD, there were statistical differences in the first three depths, except from the fourth and on. In the humid season, there was a big quantity of roots until the 60 cm, results that agreed to the reported by Bastidas *et al.* (2011). The little quantity of roots found during the dry season might indicate that humidity caused an important growing of roots, which were necessary for the growth of the whole plant (Avilán, 1977).

The root percentages for the different depths are presented in table 4. It is also important to mention that in the soil under research the fine roots were exploring at a big depth, information that contrasted to the reported by Zérega *et al.* (2002). The latter might be related to a correct depth of the soils studied, besides their low fertility. The results obtained in this research are important for the planning of samplings after the fertility analysis, since the exploration depth of fine roots is an indicative of the absorption activity of nutrients of the plant (Luster *et al.*, 2009).

## Conclusions

The nutrimental soil diagnose, characterized as Stagnic (Eutric)

**Cuadro 3. Matriz de correlación entre los diferentes parámetros químicos estudiados en el agroecosistema caña de azúcar.****Table 3. Correlation matrix among the different chemical parameters studied in the sugarcane agroecosystem.**

	N	MO (mg·kg <sup>-1</sup> )	P	pH	CIC (Cmol+k g <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg
MO (%)	0,748							
P (mg·kg <sup>-1</sup> )	0,701	0,792						
pH	-0,702	-0,838	-0,780					
CIC (cmol <sup>+</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	-0,389	-0,602	-0,472	0,520				
K (cmol <sup>+</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	0,065	0,022	-0,024	-0,353	-0,164			
Ca (cmol <sup>+</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	-0,066	-0,196	-0,271	-0,067	-0,014	0,895		
Mg (cmol <sup>+</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	-0,073	-0,187	-0,205	-0,096	-0,012	0,880	0,938	
COS (Abs)	0,723	0,888	0,877	-0,847	-0,580	0,028	-0,228	-0,185

varios se correlacionaron muy bien entre sí; COS y N fueron los mejores relacionados con la MO, aunque P y pH también presentaron valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) altos. Las bases de intercambio Ca y Mg mostraron correlaciones altas entre sí ( $R^2= 0,880$ ). Comportamientos parecidos para estas variables (MO, COS, N, Ca y Mg) han sido reportados por otros autores (Rodríguez, 1982; Pérez *et al.*, 2010), asumiendo que se debió a que en el suelo se presentaron dinámicas parecidas, o a afinidad química (por aniones) en el caso de las bases, o bien por ser componentes importantes del complejo orgánico de la MO.

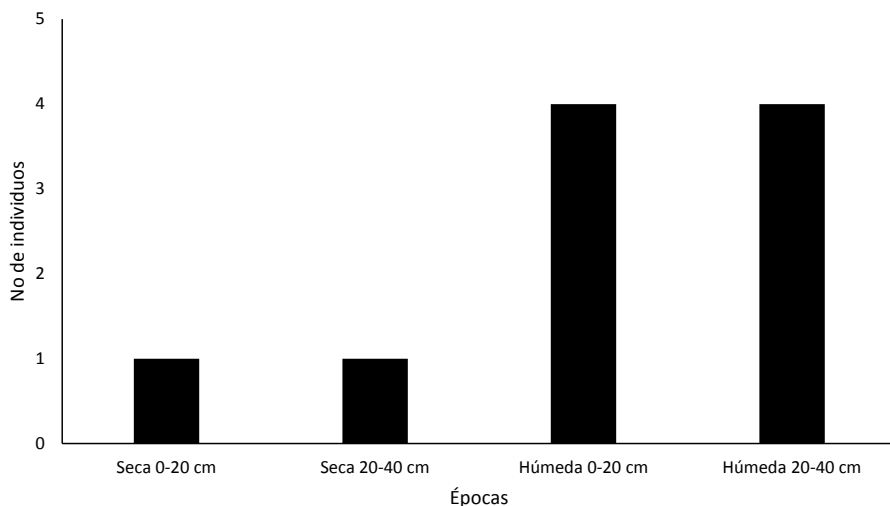
En la figura 2 se muestra el comportamiento de la macrofauna del suelo cañero estudiado, los pocos organismos localizados se ubicaron en las dos primeras profundidades (0-20

Vertisol VRst. showed low and very low nutrient contents, excepting P in the first depth (0-30c cm) and CIC in both depths (0-30 and 30-60 cm).

In relation to the chemical indicators in the agroecosystem of sugarcane, OM of the soil is the one that stands out, which is positively related to the presence of SOC, N and P and negatively related to the pH.

Regarding the biological indicator, the scattered macrofauna, especially during the dry season suggests soil degradation.

FRLD was statistically higher during the humid season in the three first depths (0-20, 20-40 and 40-60 cm), and in the dry season it was homogenous; apparently there is an important exploration looking for nutrients until 140 cm of depth, which might be favoring the stability of the sugarcane agroecosystem.



**Figura 2. Comportamiento de la macrofauna edáfica (clase Nematoda) del agroecosistema de caña de azúcar en las épocas seca y húmeda.**

**Figure 2. Behavior of the soil macrofauna (Nematode class) of the sugarcane agroecosystem during dry and wet seasons.**

y 20-40 cm). La escasa macrofauna del sitio se debió a la degradación del suelo, la cual estuvo relacionada con la pérdida de MOS, que fue consecuencia de quemadas periódicas, el daño mecánico que implicó la labranza intensiva y, sobre todo, la gran aplicación de biocidas (Elliot y Lynch 1994). Aunque existen otros factores que podrían influir en dicha escasez, como fueron la estructura, el pH y la erosión hídrica del suelo, consecuencias de la pérdida de cobertura vegetal en este cultivo (Foth, 1979).

### Acknowledgment

The authors want to thank the Postgraduate studies located in Tabasco campus by the support provided for carrying out this research as part of the master program of the first author.

*End of English version*

En la figura 3 se muestra la DLRf, hubo diferencias estadísticas en las tres primeras profundidades; no así a partir de la cuarta. En la época húmeda hubo una gran cantidad de raíces hasta los 60 cm, resultados que coincidieron con los reportados por Bastidas *et al.* (2011). La poca cantidad de raíces encontradas en la sequía parece indicar que la humedad disparó un crecimiento importante de raíces, las cuales fueron necesarias para el crecimiento de toda la planta (Avilán, 1977).

Los porcentajes de raíces para las diferentes profundidades se muestran en el cuadro 4. Es también importante recalcar que en el suelo en estudio las raíces finas estuvieron explorando a una gran profundidad, lo que contrastó con lo reportado por Zérega *et al.* (2002). Lo anterior podría estar asociado a la buena profundidad de los suelos estudiados, además de su baja fertilidad. Los resultados obtenidos en esta investigación son importantes en la planeación de muestreos posteriores para análisis de fertilidad, ya que la profundidad de exploración de las raíces

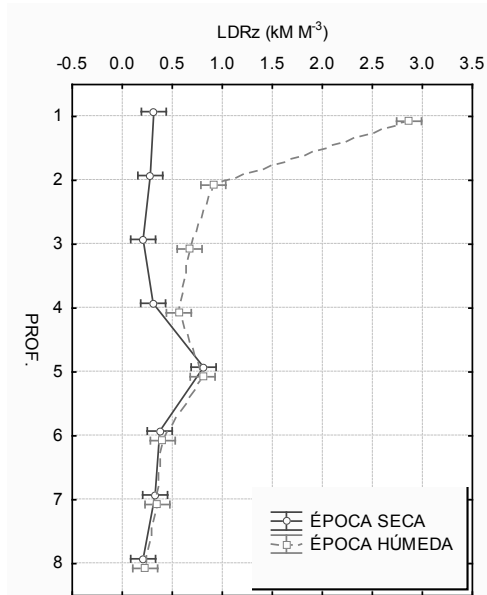


Figura 3. Densidad de longitud de raíces finas (<3 mm) hasta 160 cm de profundidad (cada 20 cm) en el agroecosistema caña de azúcar. Efecto principal  $F(7,48) = 97,787$ ,  $P = 0,0000$  las barras horizontales indican intervalos de confianza (0,95).

Figure 3. Density of length of fine roots (<3 mm) up to 160 cm depth (every 20 cm) in the sugar cane agroecosystem. Main effect  $F(7,48) = 97.787$ ,  $P = 0.0000$  horizontal bars indicate confidence intervals (0.95).

**Cuadro 4. Porcentajes de raíces finas en diferentes profundidades del agroecosistema de caña de azúcar.****Table 4. Percentage of fine roots in different depths of the sugarcane agroecosystem.**

Profundidad	Época (%)	
	Húmeda	Seca
0-20	11,2	2,5
0-40	45,8	13,0
0-60	58,1	22,7
0-80	67,4	30,1
0-100	79,7	60,7
0-120	90,1	81,0

finas es un indicativo de la actividad de absorción de nutrimentos que tiene la planta (Luster *et al.*, 2009).

### Conclusiones

El diagnóstico nutrimental del suelo, caracterizado como Vertisol Stagnico VRst (Éutrico), mostró en general, contenidos bajos y muy bajos de nutrimentos, con excepción del P en la primera profundidad (0-30 cm) y la CIC en las dos estudiadas (0-30 y 30-60 cm).

De los indicadores químicos en el agroecosistema caña de azúcar, destaca la MO del suelo, que está relacionada positivamente con la presencia de COS, N y P, y negativamente con el pH.

En cuanto al indicador biológico, la escasa macrofauna, sobre todo en la época seca sugiere degradación del suelo.

La DLRF fue estadísticamente mayor en la época húmeda en las

tres primeras profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm), en tanto que en la época seca fue homogénea en casi todas, al parecer hay una importante exploración en busca de nutrientes hasta los 140 cm de profundidad, lo que podría estar favoreciendo la estabilidad del agroecosistema caña de azúcar.

### Agradecimiento

Los autores desean agradecer al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco el apoyo brindado para la realización de esta investigación como parte de la formación de maestría de la primera autora.

### Literatura citada

Álvarez D., A. y B. Ignacio J. 2007. Estudio del ensamblaje de coleópteros en diferente áreas de la Cantera Soratama localidad de Usaquén, Bogotá. Univ. Sci. Edición especial II(12):47-56.

- Armida, A., L. Espinosa V., D. Palma L., A. Galvis S. y S. Salgado G. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra* 23(4):545-551.
- Arreola-Enriquez, J. D. Palma-López, S. Salgado-García, W. Camacho-Chiu, J. Obrador-Olán, J. Juárez-López y L. Pastrana-Aponte. 2004. Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 22:351-357.
- Avilán, L., F. Granados y D. Ortega. 1977. Estudios del sistema radicular de las tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en un molisol de los valles de Aragua. *Agron. Trop.* 27(1):69-87.
- Azevedo M., C.B., J.L. Chopart and C. de Conti Media C. 2011. Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. *Sci. Agric.* 68(1):94-101.
- Bastidas G., L.R., R. Rea, N. Rodríguez y J. Ventura. 2011. Influencia del sistema radical sobre los indicadores de rendimiento en la caña de azúcar. *Multiciencia* 11(1):15-25.
- Bautista C., A., J. Etchevers B., R.F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas XIII*(2):90-97.
- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. *Ecological Studies* 33. Ed. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol. 33. 188 p.
- Carrillo, A., E. Vera J., J.C. Alamilla M., J.J. Obrador O. y E. Aceves N. 2008. Cómo aumentar el rendimiento de la caña de azúcar en Campeche. *Colegio de Postgraduados*. 101 p.
- 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.
- Cudlin, P.B., K. Rokicka, M. Rudawska, T. Grebenc, O. Alberton, T. Lehto, M.R. Bakker, I. Børja, B. Konopka, H. Kraigher and T.W. Kuyper. 2007. Recent advances in woody root research: Fine roots and ectomycorrhizas as indicators of environmental change. *Plant Biosyst.* 141(3):406-425.
- Elliot, L.F. and J.M. Lynch. 1994. Biodiversity and soil resilience. p. 352-363. *In: Greenland D. e I. Szabolcs*, (Eds.) *Soil resilience and sustainable land use*. CAB International. Oxon, UK.
- Espinoza, Y. 2010. Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro* 22(3):177-184.
- Etchevers B., J.D. y V. Volke H. 1991. Generación de tecnología mejorada para pequeños productores. Serie Cuadernos de Edafología 17. CEDAF-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 46 p.
- Foth, H.D. 1979. *Fundamentals of soil science*. 7th Ed. John Wiley y Sons, New York, USA. 435 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta. Edición. Editorial Indianápolis. México, D.F. 246 p.
- Geissen, V. and G. Morales G. 2005. Fertility of tropical soils under different land use systems-a case study of soils in Tabasco, México. *Appl. Soil Ecol.* 31(1-2):169-178.
- IUSS-WRB. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre recursos mundiales de suelos. N° 103. FAO, Roma. 130 p.
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florian, R. Blas-Sevillano y S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA* 24(1):49-61.
- Lang-Ovalle, F.P., A. Pérez V., J.P. Martínez D., D.E. Platas R., L.A. Ojeda E. e I.J. Gonzáles A. 2011. Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 29(2):169-177.
- Larson, L.O. y P. Narain. 2001. La calidad de la tierra y otros indicadores de datos

estadísticos de desarrollo sostenible, control de calidad y problemas de agregación. *En*: Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Boletín N° 5 de Tierras y Aguas. FAO. 207 p.

Lavelle, P., T. Decaëns, M. Aubert, S. Barot, M. Blouin, F. Bureau, P. Margerie, P. Mora and J.P. Rossi. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol.* 42(1):S3-S15.

Luster, J., A. Göttlein, B. Nowack and G. Sarret. 2009. Sampling, defining, characterising and modeling the rhizosphere- the soil science tool box. *Plant Soil* 321: 457-482.

Méndez M., J. y A. Equihua M. 2001. Diversidad y manejo de los termes de México (Hexapoda, Isoptera). *Acta Zool. Mex.* Es1:173-187.

Mengel, H. and E.A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5<sup>th</sup> ed. International Potash Institute. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston. 848 p.

Morales T., J. 2011. Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. Monografía. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Veracruz, México. 72 p.

NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 85 p.

Obrador O., J.J. 2009. Labores culturales en el cultivo de caña de azúcar. p. 22-25. *En*: Valdez B., A., A. Guerrero P., E. García L. y J.J. Obrador O. 2009. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México.

Palma L., D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón R. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.

Pérez, O., C. Ufer, V. Azañon y E. Solares. 2010. Estrategias para la optimización del uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala. Centro de investigación y capacitación de la caña de azúcar (CENGICANA), Guatemala. 5 p.

Pla S., I. 1995. Labranza y propiedades físicas de los suelos. p. 26-41. *En*: Pla S., I. y F. Ovalles. Efecto de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. Reunión bienal de la red latinoamericana de labranza conservacionista. FONAIAP-FOA- ISSS-UNELLEZ-RELACO.

Rodríguez S., F. 1982. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT Editor, S.A. México, D.F. 157 p.

Rodríguez, R. 2004. Seculo XXI, O Novo Tempo da Agroneria Renovável. *Visão Agrícola* 1:4-7.

Ruiz-Álvarez, O., R. Arteaga-Ramírez, M.A. Vázquez-Peña, R.E. Ontiveros Capurata y R. López-López. 2012. Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 28(1):1-14.

Salgado-García, S., R. Núñez E. y L. Bucio A. 2003. Determinación de la dosis optima económica de fertilización en caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 21(2):267-272.

Salgado-García, S., D.J. Palma-López, L.C. Lagunes-Espinoza, C.F. Ortiz-García y J.M. Ascencio-Rivera. 2005. Bases para generar un programa sustentable de fertilidad en un ingenio de Tabasco, México. *Interciencia* 30(7):395-403.

Salgado-García, S., D.J. Palma-López, J. Zavala C., L.C. Lagunes-Espinoza, M. Castelán E., C.F. Ortiz-García, J.F. Juárez L., O. Ruiz R., L. Armida A. y J.A. Rincón R. 2009. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Tabasco, México. 84 p.



- Salgado-García, S., D.J. Palma-López, J. Zavala C., L.C. Lagunes-Espinoza, M. Castelán E., C.F. Ortiz-García, J.F. Juárez L., O. Ruiz R., L. Armida A. and J.A. Rincón R. 2010. A sustainable fertilization program for a sugar factory in México: A principle for precisión agricultura. *Proc. Int. Sugar. Cane. Technol.* 27:8-16.
- Sánchez-Hernández, R., R. Ramos-Reyes, V. Geissen, J. Mendoza-Palacios, E. De la Cruz-Lázaro, E. Salcedo-Pérez y D. Palma-López. 2011. Contenidos de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. *Terra Latinoamericana* 29(2):211-219.
- SAS System. 2001. Version 8.1 of SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos, muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. 24 p.
- Stechauner R., R. and R. Madrinan M. 2013. Interacción macrofauna-microbiota: efectos de la transformación de residuos de cosecha sobre la actividad de  $\beta$ -Glucosidasa edáfica. *Rev.Bio. Agro.*11(1):184-195.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Washington, DC, USA. 82 p.
- Zérega, L. 1994. Manejo de suelos y uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar. Fundación azucarera para la investigación y la productividad. Venezuela. Boletín N° 10. 23 p.
- Zérega, L., M. Rojas y T. Hernández. 2002. Caracterización y sugerencias de manejo de los recursos agroecológicos para la producción de caña de azúcar en la unión de prestatarios "La Esperanza", estado Yaracuy. *Caña de Azúcar* 20(1):18-40.