

SUELOS DESTINADOS A LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO EN YUCATÁN: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS PREDOMINANTES

SOILS USED FOR HABANERO CHILI PRODUCTION IN YUCATÁN: PREDOMINANT PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS

Lizette **Borges-Gómez***, Cristy **Moo-Kauil**, Juan **Ruiz-Novelo**, Mercedes **Osalde-Balam**,
Carlos **González-Valencia**, Carmen **Yam-Chimal**, Francisco **Can-Puc**

División de Estudios de Posgrado. Instituto Tecnológico de Conkal. Km 16.3 antigua carretera
Mérida-Motul, Conkal, Yucatán México. (lizette_borges@hotmail.com).

RESUMEN

En 2010 se obtuvo la certificación de origen del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) de la Península de Yucatán, siendo el estado de Yucatán el principal productor. Las características del chile habanero son sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel debido a las condiciones de clima, suelo y ubicación de la región. Las características de los suelos del estado de Yucatán no se conocen bien y es un factor que confiere distintivos al chile habanero, por lo cual el objetivo del presente estudio fue analizar física y químicamente estos suelos. Veintiocho pruebas de laboratorio fueron realizadas en muestras de 24 suelos y los datos fueron analizados por estadística descriptiva (tendencia central y dispersión). El CV fue alto (>37 %) en 18 de las 28 pruebas y en 10 el CV fue 4 a 37 %. Al menos 50 % de los suelos son franco limoso, con baja densidad aparente (0.58-0.82 g cm⁻³), alta porosidad (71-74 %), de neutro a medianamente alcalino, muy ligeramente salinos y contenidos muy altos de MO (>6 %). El 54 % de los suelos son ricos en N (>0.25 %), 67 % en P (>11 mg kg⁻¹) y 92 % en K (>0.6 cmol_(c) 100 g⁻¹); en 88 % la CIC es alta a muy alta (25-52 meq 100 g⁻¹), 100 % son altos en Ca (>10 cmol_(c) kg⁻¹) y 75 % son de medio a alto en Mg (1.3-5.5 cmol_(c) kg⁻¹). Más del 60 % son marginales en Fe (<2.5 mg kg⁻¹) y Zn (<0.2 mg kg⁻¹) pero adecuados en Cu y Mn (>2 y >1.0 mg kg⁻¹ respectivamente). Los suelos que confieren distintivos particulares al chile habanero del estado de Yucatán son altamente heterogéneos en sus características físicas y químicas.

Palabras clave: *Capsicum chinense* Jacq., análisis físicos y químicos de suelos.

ABSTRACT

In 2010, the certificate of origin for habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) was obtained for the Yucatán Peninsula, where the state of Yucatán is the principal producer. The characteristics of habanero chili are flavor, aroma, pungency, color and shelf life due to the weather, soil and location conditions in the region. Soil characteristics in the state of Yucatán are not well-known and it is a factor that confers distinctive features to the habanero chili; therefore, the objective of this study was to analyze those soils physically and chemically. Twenty-eight laboratory tests were performed on samples from 24 soils and the data were analyzed through descriptive statistics (central tendency and dispersion). The CV was high (>37 %) in 18 of the 28 tests and in 10 the CV was 4 to 37 %. At least 50 % of the soils are silt loam, with low apparent density (0.58-0.82 g cm⁻³), high porosity (71-74 %), from neutral to moderately alkaline, very slightly saline, and very high OM contents (>6 %). Of the soils, 54 % are rich in N (>0.25 %), 67 % in P (>11 mg kg⁻¹) and 92 % in K (>0.6 cmol_(c) 100 g⁻¹); in 88 % the CIC is high to very high (25-52 meq 100 g⁻¹), 100 % are high in Ca (>10 cmol_(c) kg⁻¹) and 75 % are medium to high in Mg (1.3-5.5 cmol_(c) kg⁻¹). More than 60 % are marginal in Fe (<2.5 mg kg⁻¹) and Zn (<0.2 mg kg⁻¹), although adequate in Cu and Mn (>2 and >1.0 mg kg⁻¹, respectively). The soils that confer particular distinctive features to habanero chili in the state of Yucatán are highly heterogeneous in their physical and chemical characteristics.

Key words: *Capsicum chinense* Jacq., physical and chemical analysis of soils.

INTRODUCTION

Yucatán, in Southeastern México, has 39 524 km², its physiography lacks elevated zones, and its landscape is made up of rocky plains, low and

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2013. Aprobado: mayo, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 347-359. 2014.

INTRODUCCIÓN

Yucatán está en el sureste de México, tiene 39 524 km², su fisiografía carece de zonas elevadas y su paisaje está conformado por llanura rocosa, lomeríos bajos, profundos y hondonadas. La gran diversidad de suelos en extensiones pequeñas de terreno es un problema importante en el manejo agronómico (Duch, 1988), por lo que se destinan sólo para la agricultura 794 145 ha, incluyendo praderas.

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es un cultivo tradicional en el sureste de México y Yucatán es el principal productor. En 2011 fueron sembradas 644.55 ha con este chile en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, y este último tuvo 351 ha (SIAP, 2011). Según Medina-Lara *et al.* (2008), por sus características de vida en anaquel y pungencia, el chile habanero de la Península de Yucatán se considera de calidad superior a los cultivados en el resto del mundo. Canto-Flick *et al.* (2008) evaluaron 18 accesiones de chile habanero de la Península de Yucatán, que comprende una gran variedad de colores, formas y tamaños en los frutos; reportaron que 83.3 % de las accesiones superaron los niveles de pungencia de chile habanero de otras partes del mundo (Bosland y Baral, 2007). Por esta razón la demanda del fruto de chile habanero de Yucatán aumentó en el mercado internacional (González-Estrada, 2006) exportándose a Canadá, Europa, Japón y EE.UU. donde se usa como especia en alimentos y procesado en derivados usados en tratamientos de neuropatías y productos en la legítima defensa (p. ej., spray de pimienta) (Islas-Flores *et al.*, 2005).

La necesidad de caracterizar los suelos donde se produce el chile habanero derivó de la propuesta para obtener la certificación de origen del “chile habanero de Yucatán” en octubre de 2008. La propuesta se modificó en junio de 2010 y se obtuvo la denominación de origen del “chile habanero de la Península de Yucatán” (Diario Oficial de la Federación, 2010). Después fue emitida la NORMA Oficial Mexicana (NOM-189-SCFI-2012) la cual señala que dadas las características del chile habanero de la península de Yucatán, el mercado nacional e internacional distingue al Chile Habanero producido en estas zonas a los provenientes de otras zonas productoras, por sus características de sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel, debiéndose éstas a las condiciones especiales de la región, como clima, suelo y ubicación.

deep hills, and hollows. The great diversity in soils in small land extensions is an important issue for agronomic management (Duch, 1988), which is why only 794 145 ha are devoted to agriculture, including grasslands.

Habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) is a traditional crop in Southeastern México, and Yucatán is the primary producer. In 2011, 644.55 ha were cultivated with this chili in the states of Campeche, Quintana Roo and Yucatán, and the latter had 351 ha (SIAP, 2011). According to Medina-Lara *et al.* (2008), because of its characteristics of shelf life and pungency, habanero chili from the Yucatán Peninsula is considered of a higher quality than those cultivated in the rest of the world. Canto-Flick *et al.* (2008) evaluated 18 samples of habanero chili from the Yucatán Peninsula, comprising a large variety of colors, shapes and sizes of the fruits; they reported that 83.3 % of the samples exceeded the levels of pungency in habanero chili from other parts of the world (Bosland and Baral, 2007). Because of this, the demand for habanero chili fruit from Yucatán increased in the international market (González-Estrada, 2006), and it is exported to Canada, Europe, Japan and USA, where it is used as a spice in food and processed into byproducts for neuropathy treatments and in products for personal defense (for example, pepper spray) (Islas-Flores *et al.*, 2005).

The need to characterize the soils where habanero chili is produced derived from the proposal to obtain the certificate of origin for “Yucatán habanero chili” in October 2008. The proposal was modified in June 2010 and the denomination of origin for “Yucatán Peninsula habanero chili” was obtained (Diario Oficial de la Federación, 2010). Then, the Official Mexican Norm (NOM-189-SCFI-2012) was issued, which states that given the characteristics of habanero chili from the Yucatán Peninsula, the national and international market differentiates habanero chili produced in these zones from those produced in other zones, because of its characteristics of flavor, aroma, pungency, color and shelf life; these are due to the special conditions in the region, such as climate, soil and location.

In order to optimize the origin and quality of habanero chili, it is necessary to understand the characteristics of the geographic environment, and the natural and human factors involved in its production (Fernández and González, 2001).

Para optimar la procedencia y la calidad del chile habanero es necesario conocer las características del medio geográfico, los factores naturales y humanos involucrados en su producción (Fernández y González, 2001). Ramírez *et al.* (2006) reportaron el potencial de los suelos de Yucatán para producir chile habanero basándose en un estudio realizado con un software que usa datos de elevación digital, clima y suelo; el resultado fueron imágenes digitalizadas usadas para clasificar en zonas no aptas, bajo, mediano y alto potencial productivo. Tun (2001) tomó en cuenta condiciones climáticas (temperatura media anual) y clase de suelo (pendiente, elevación, geomorfología, etcétera). Soria *et al.* (2002) mencionan las características ideales para la producción de chile habanero para un solo tipo de suelo, sin considerar la diversidad de los mismos en Yucatán.

En la literatura revisada no se encontraron estudios acerca de análisis de suelo en los sitios donde se cultiva el chile habanero. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las características físicas y químicas de los suelos cultivados con chile habanero del estado de Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se muestrearon 24 suelos de 17 municipios del estado de Yucatán, México, ubicado entre 19° 40' y 21° 37' N 87° 30' y 90° 26' O, y en la selección de los sitios se consideró tanto los municipios productores o con superficie establecida de chile habanero, como la división de regiones y la zonificación edáfica del estado. La ubicación geográfica de los sitios estudiados se presenta en la Figura 1. Los suelos de los sitios seleccionados fueron clasificados por Bautista *et al.* (2005). En el Cuadro 1 se indica el tipo de suelo de acuerdo con la Base Referencial del Sistema FAO y la maya, manteniéndose esta última al estar ampliamente difundida entre técnicos y campesinos de la península de Yucatán, y porque se toma como base en los estudios realizados.

Para el muestreo se tomaron tres muestras compuestas para cada sitio en una superficie promedio de 500 m². Para obtener las muestras compuestas se usó la metodología sistemática de muestreo para reducir la variabilidad de las muestras (Petersen y Calvin, 1986): el lote se dividió en tres subunidades homogéneas, en cada una se tomaron 15 muestras simples de unos 500 g y a una profundidad de 0-25 cm. Para la recolección en el campo se hizo un recorrido de zig-zag a intervalos fijos. Las 15 muestras simples se mezclaron para formar una muestra compuesta y se redujo a un peso aproximado de 1 kg mediante el sistema de cuarteos diagonales (NOM-021-RECNAT-2000). Cada sitio de

Ramírez *et al.* (2006) reported the potential of soils in Yucatán for producing habanero chili, based on a study performed with software that uses data for digital elevation, climate and soil; the results were digitalized images used to classify into zones of unsuitable, low, medium and high productive potential. Tun (2001) took into account climate conditions (mean annual temperature) and soil class (slope, elevation, geomorphology, etc.). Soria *et al.* (2002) mentions the ideal characteristics for the production of habanero chili for a single type of soil, without taking into account the diversity of soils in Yucatán.

In the literature reviewed, no studies were found regarding soil analyses in sites where habanero chili is cultivated. Therefore, the objective of this study was to evaluate the physical and chemical characteristics of soils cultivated with habanero chili in the state of Yucatán.

MATERIALS AND METHODS

For this study, 24 soils were sampled in 17 municipalities of the state of Yucatán, México, located between 19° 40' and 21° 37' N and 87° 30' and 90° 26' W, and in the selection of sites, both the municipalities producing habanero chili or with surfaces established with it, and the division of regions and soil zoning of the state were taken into account. The geographic location of the sites studied is presented in Figure 1. The soils in the sites selected were classified by Bautista *et al.* (2005). Table 1 shows the type of soil based on FAO's Reference Base, and the Maya system, keeping to the latter since it is widely known among technicians and peasants in the Yucatán Peninsula, and because it is used as a basis for the studies performed.

For sampling, three composite samples were taken for each site on an average surface of 500 m². To obtain composite samples, the systematic methodology for sampling was used to reduce the variability of the samples (Petersen and Calvin, 1986): the lot was divided into three homogeneous subunits, and 15 simple samples of about 500 g were taken in each one at a depth of 0-25 cm. For field collection, a zig-zag walk at fixed intervals was performed. The 15 simple samples were mixed to form a composite sample and it was reduced to an approximate weight of 1 kg through the system of diagonal quartering (NOM-021-RECNAT-2000). Each sampling site was represented by three composite samples, and each sample corresponded to one repetition, for a total of 72 samples or experimental units.

The soil samples were dried in the open under shade for 72 h, extending them on paper with thickness of less than 2.5 cm,

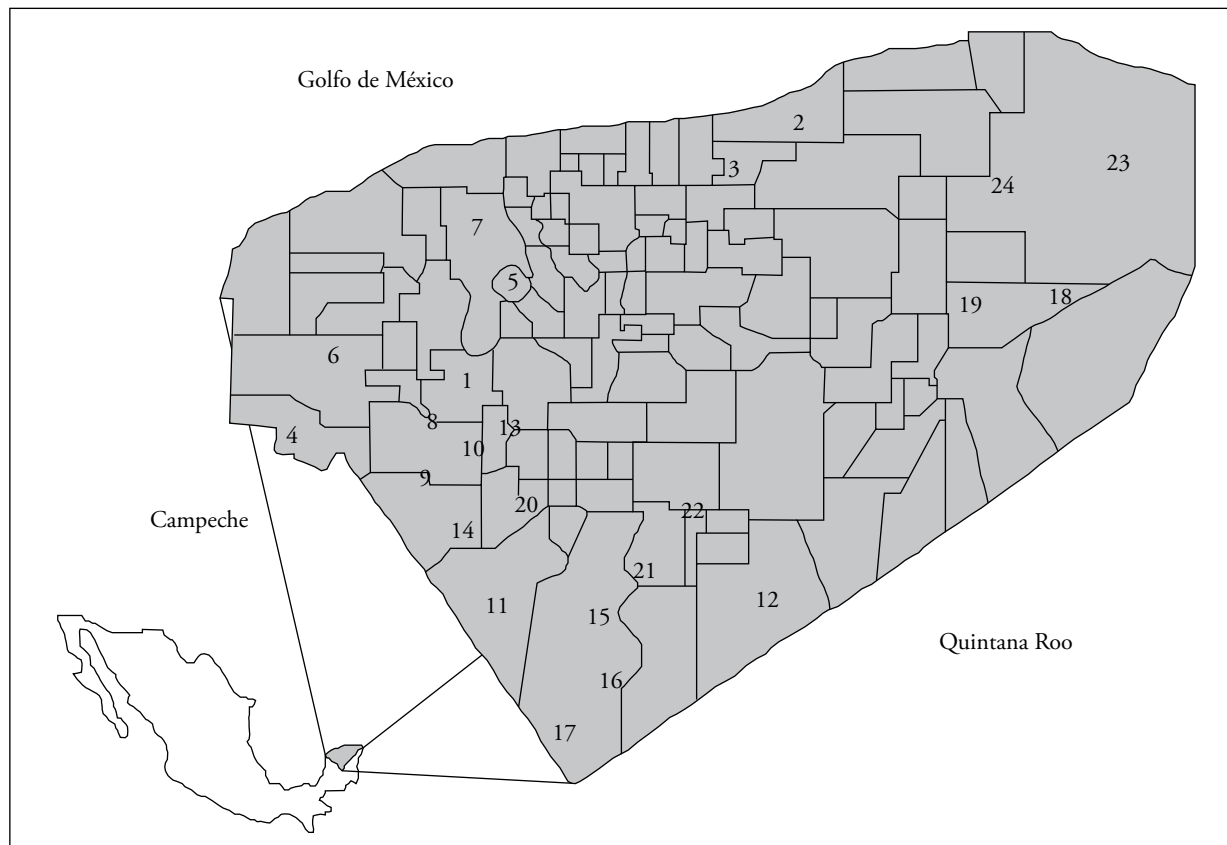


Figura 1. Ubicación de los suelos muestreados en el estado de Yucatán. 1) Abala; 2) Dzilam González (Xbec); 3) Dzilam de Bravo (Yasilhon); 4) Halacho (Cepeda); 5) Kanasin; 6) Maxcanu; 7) Mérida (Dzitia); 8) Muna-1; 9) Muna-2; 10) Muna-3; 11) Oxkutzcab; 12) Peto; 13) Sacalum; 14) Santa Elena; 15) Tekax (Kankab); 16) Tekax (Chacmultun); 17) Tekax (Pol-Yuc); 18) Temozon (Santa Rita); 19) Temozon (X-Uch); 20) Ticul (Pustunich); 21) Tixmehuac-1; 22) Tixmehuac-2; 23) Tizimin (San Juan); 24) Tizimin (Cenote Azul).

Figure 1. Location of soils sampled in the state of Yucatán. 1) Abala; 2) Dzilam González (Xbec); 3) Dzilam de Bravo (Yasilhon); 4) Halacho (Cepeda); 5) Kanasin; 6) Maxcanu; 7) Mérida (Dzitia); 8) Muna-1; 9) Muna-2; 10) Muna-3; 11) Oxkutzcab; 12) Peto; 13) Sacalum; 14) Santa Elena; 15) Tekax (Kankab); 16) Tekax (Chacmultun); 17) Tekax (Pol-Yuc); 18) Temozon (Santa Rita); 19) Temozon (X-Uch); 20) Ticul (Pustunich); 21) Tixmehuac-1; 22) Tixmehuac-2; 23) Tizimin (San Juan); 24) Tizimin (Cenote Azul).

muestreo estuvo representado por tres muestras compuestas correspondiendo a cada muestra una repetición, para un total de 72 muestras o unidades experimentales.

Las muestras de suelo se secaron al ambiente bajo sombra por 72 h, extendiéndolas sobre papel con espesor inferior a 2.5 cm, temperatura no mayor a 35 °C y humedad relativa entre 30 y 70 %, evitando así cambios en sus características físicas y químicas. Después fueron tamizadas con un tamiz con aberturas de 2 mm de diámetro. La obtención y preparación de las muestras así como las pruebas analíticas se realizaron de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, muestreo y análisis. En cada muestra se realizaron 28 pruebas analíticas, para un total de 2016 análisis.

temperature below 35 °C and relative humidity between 30 and 70 %, thus preventing changes in their physical and chemical characteristics. Later, they were sieved with a sieve with openings of 2 mm. Obtaining and preparing samples, as well as the analytical tests, were carried out based on the Mexican official norm NOM-021-RECNAT-2000, which establishes the specifications for soil fertility, salinity and classification, as well as for sampling and analysis. For each sample 28 analytical tests were performed, for a total of 2016 analyses. The analytical methods were: for texture, with a Bouyoucos hydrometer; apparent density with the paraffin method; real density with the pycnometer method; the porosity by means of the values of apparent and real density; the volumetric water content from the difference in weight of the damp soil at field capacity and dry

Cuadro 1. Ubicación geográfica y clasificación de 24 suelos cultivados con chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el estado de Yucatán, México.**Table 1. Geographic location and classification of 24 soils cultivated with habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) in the state of Yucatán, México.**

Suelo	LN	LO	Clasificación FAO	Clasificación Maya
1	20° 39' 01.06"	89° 36' 14.87"	Leptosol	Tzekel lu'um
2	21° 14' 53.90"	88° 49' 28.13"	Leptosol	Tzekel negro
3	21° 24' 28.61"	88° 30' 12.24"	Regosoles calcárico	Dzop-lug
4	20° 29' 23.56"	90° 04' 39.84"	Leptosol	Tzekel
5	20° 54' 08.70"	89° 32' 02.10"	Leptosol	Tzekel
6	20° 50' 67.00"	90° 11.3' 64.00"	Leptosol	Tzekel
7	21° 48' 33.30"	89° 42' 01.24"	Rendzina negra	Pus-Lu'um
8	20° 25' 56.39"	89° 49' 53.12"	Cambisoles	K'ankab
9	20° 25' 34.80"	89° 48.5' 59.00"	Gleysol	Ak'al che
10	20° 25' 20.50"	89° 47' 53.12"	Vertisol	Yaax-hom
11	20° 17' 32.00"	89° 25' 40.21"	Luvisol	K'ankab
12	20° 03' 53.00"	88° 55' 43.50"	Luvisol	K'ankab
13	20° 30' 32.50"	89° 34' 47.67"	Rendzina	Chac-lu'um
14	20° 19' 53.57"	89° 39' 38.89"	Leptosol	Tzekel
15	20° 06' 13.27"	88° 14' 23.52"	Luvisol	K'ankab
16	20° 09' 30.19"	89° 21' 05.20"	Rendzina	Boxlu'um
17	19° 55' 05.24"	89° 03' 35.42"	Rendzina	Boxlu'um
18	20° 52' 58.77"	88° 09' 02.77"	Rendzina negra	Pus-Lu'um
19	20° 53.6' 50.50"	88° 11' 25.40"	Luvisol	K'ankab
20	20° 22' 24.28"	89° 33' 49.13"	Luvisol	K'ankab
21	20° 14' 23.84"	89° 06' 45.22"	Luvisol	K'ankab
22	20° 13' 47.50"	89° 07' 15.00"	Rendzina negra	Pus-Lu'um
23	21° 11' 44.49"	87° 41' 20.10"	Rendzina roja	Chan-lu'um
24	21° 13' 11.93"	87° 48' 28.87"	Luvisol	K'ankab

Los métodos analíticos fueron: para textura el hidrómetro de Bouyoucos; densidad aparente por el método de la parafina; densidad real por el método del picnómetro; la porosidad mediante los valores de densidad aparente y densidad real; el contenido volumétrico de agua por diferencia de peso del suelo húmedo a capacidad de campo y suelo seco a 100 °C. El porcentaje de materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black; la capacidad de intercambio catiónico y contenido de potasio por el método de acetato de amonio; calcio y magnesio con acetato de sodio; nitrógeno por el método Kjeldhal; fósforo por Olsen; y cobre, fierro, zinc y manganeso por extracción con DTPA. Los elementos solubles se analizaron en el extracto de una pasta de saturación; para nitratos se usó el método el ionómetro; el fósforo soluble por colorimetría; los cloruros con el método argentométrico; sulfatos con el método turbidimétrico; y bicarbona-

soil at 100 °C. The percentage of organic matter was determined with the Walkley and Black method; the capacity for cationic exchange and potassium content with the ammonium acetate method; calcium and magnesium with sodium acetate; nitrogen with the Kjeldhal method; phosphorus with Olsen; and copper, iron, zinc and manganese through DTPA extraction. The soluble elements were analyzed from the extract in a saturation paste; the ionometer method was used for nitrates; colorimetry for soluble phosphorus; the argentometric method for chlorides; the turbidimetric method for sulfates; and volumetric titration for bicarbonates. The equipments to quantify the elements were: UV-VIS spectrophotometry (GBC Scientific equipment Cintra-10); atomic absorption spectrophotometry (GBC Scientific equipment 632-B plus); and ionometer (Horiba-NO₃).

tos por titulación volumétrica. Los equipos para cuantificar los elementos fueron espectrofotometría UV-VIS (GBC Scientific equipment Cintra-10); espectrofotometría de absorción atómica (GBC Scientific equipment 632-B plus); y ionómetro (Horiba-NO₃).

Los resultados fueron analizados estadísticamente realizando las medidas de tendencia central (media, mínimos y máximos) y medidas de dispersión (coeficiente de variación y desviación estándar).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayoría de las variables evaluadas mostraron una distribución asimétrica y dispersión o amplitud respecto al valor central. Los valores reportados en los Cuadros 2, 3 y 4 indican alta desviación estándar y coeficiente de variación (CV). Los CV fueron muy altos para 18 variables medidas y variaron de 4 a 37 % para las 10 restantes. Los valores altos de CV en los análisis físicos y químicos del suelo muestran la variabilidad espacial en los suelos (Vergara-Sánchez *et al.*, 2005 Jarquín-Sánchez *et al.*, 2011; Navarro *et al.*, 2012). De acuerdo con Duch (1988), la heterogeneidad alta de los suelos de Yucatán se debe a su diferente tiempo de desarrollo, a pesar de tener un mismo material parental. Duch (1991) y Escamilla *et al.* (2005) describieron que los suelos de Yucatán se encuentran en “parches” de diversos tamaños y nunca en extensiones homogéneas de decenas de hectáreas; pero una característica común es el predominio de suelos pedregosos de escasa profundidad, mostrando que los suelos están formados prácticamente de residuos orgánicos dando la característica de sustrato orgánico inestable.

En el muestreo se observó que más del 50 % de los suelos son delgados, pedregosos, con drenaje superficial rápido, y no permiten usar maquinaria para labores agrícolas, mientras que 42 % son de profundidad media y menor porcentaje de piedras. La densidad aparente fue baja en todos los suelos (0.58 a 0.94 g cm⁻³) y la porosidad fue alta (59-78 %). La MO es muy alta en 50 % de los suelos (>6 % de MO) y alta en 33 % (3.6-6 %). El contenido de N en 54 % de los suelos fue muy alto (>0.25 %) y alto en 42 % (0.15-0.25c %). El P fue alto en el 67 % de los suelos (>11 mg kg⁻¹) y medio en 21 % (5-11 mg kg⁻¹). La CIC fue alta en 58 % de los suelos (25-40 meq 100 g⁻¹ suelo) y muy alta en 29 % (>40 meq 100 g⁻¹ suelo).

The results were analyzed statistically by performing measurements of central tendency (mean, minimum and maximum) and dispersion measurements (variation coefficient and standard deviation).

RESULTS AND DISCUSSION

Most of the variables evaluated showed an asymmetrical distribution and dispersion or range in regard to the central value. The values reported in Tables 2, 3 and 4 indicate a high standard deviation and coefficient of variation (CV). The CVs were very high for 18 variables measured and they varied from 4 to 37 % for the other 10. The high CV values in physical and chemical soil analyses show spatial variability in the soils (Vergara-Sánchez *et al.*, 2005 Jarquín-Sánchez *et al.*, 2011; Navarro *et al.*, 2012). According to Duch (1988), the high heterogeneity of soils in Yucatán is because of their different development times, in spite of having the same parent material. Duch (1991) and Escamilla *et al.* (2005) described that the soils in Yucatán are found in “patches” of various sizes and never in homogeneous extensions of dozens of hectares; however, a common characteristic is the dominance of rocky soils of shallow depth, showing that the soils are virtually formed from organic residues that give them the feature of unstable organic substrate.

In the sample it was observed that more than 50 % of the soils are thin, rocky, with fast superficial drainage, and they do not allow using machinery for agricultural tasks, where as 42 % are of medium depth and lower percentage of rocks. The apparent density was low in all the soils (0.58 a 0.94 g cm⁻³) and the porosity was high (59-78 %). The OM is very high in 50 % of the soils (>6 % of OM) and high in 33 % (3.6-6 %). The N content in 54 % of the soils was very high (>0.25 %) and high in 42 % (0.15-0.25 %). The P was high in 67 % of the soils (>11 mg kg⁻¹) and medium in 21 % (5-11 mg kg⁻¹). The CIC was high in 58 % of the soils (25-40 meq 100 g⁻¹ soil) and very high in 29 % (>40 meq 100 g⁻¹ soil).

The N evaluated corresponds to total N in the soil (organic and inorganic forms), so that these values are not indicators of the N available. In regard to P, given that the pH in these soils ranges from neutral to moderately alkaline, a low solubility of this element is probable (Johnson *et al.*, 2003). According to Borges-Gómez *et al.* (2008), the critical level of

Cuadro 2. Propiedades físicas de suelos de Yucatán cultivados con chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).
Table 2. Physical properties of Yucatán soils cultivated with habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.).

Suelo	pH (1:2)	CE (1:5) [†] dS m ⁻¹	Arena	Limo	Arcilla	Pt [‡]	θ [§] cm ³ cm ⁻³	Da ^b	Dr [¶] g cm ⁻³
			%						
1	7.2	0.60	17	67	16	67	0.66	0.72	2.21
2	7.1	0.42	37	45	19	73	0.54	0.58	2.15
3	7.6	0.19	37	45	19	75	0.72	0.73	2.92
4	7.7	0.26	23	56	21	72	0.61	0.72	2.59
5	7.7	0.24	32	51	17	78	0.60	0.60	2.77
6	7.2	0.12	22	63	15	67	0.61	0.78	2.39
7	7.7	0.21	40	45	15	65	0.61	0.58	1.63
8	7.7	0.13	29	5	66	63	0.60	0.92	2.45
9	7.4	0.30	3	31	66	72	0.66	0.80	2.87
10	7.2	0.49	9	39	52	69	0.63	0.92	2.94
11	7.4	0.12	40	44	16	71	0.64	0.87	3.04
12	7.0	0.11	40	47	13	72	0.61	0.85	2.98
13	7.8	0.16	11	65	25	73	0.65	0.85	3.20
14	7.3	0.21	17	56	26	67	0.63	0.84	2.54
15	7.2	0.08	51	31	19	75	0.62	0.80	3.27
16	7.2	0.13	13	41	46	62	0.68	0.93	2.48
17	7.6	0.13	48	39	13	74	0.66	0.88	3.39
18	7.0	0.18	13	60	27	62	0.67	0.82	2.13
19	7.1	0.10	25	61	15	62	0.71	0.83	2.21
20	7.5	0.09	20	61	19	75	0.66	0.89	3.60
21	6.8	0.09	29	51	20	69	0.63	0.94	3.08
22	7.7	0.33	39	45	16	66	0.63	0.77	2.23
23	7.4	0.09	30	54	16	72	0.70	0.82	2.92
24	7.7	0.12	30	58	12	59	0.74	0.86	2.10
Media	7.4	0.20	27	48.	25	69	0.64	0.80	2.67
σ	0.29	0.14	12.8	13.7	15.9	5.2	0.04	0.10	0.49
CV (%)	4	67	47	28	65	8	7	13	18
Min	6.8	0.08	3	5	12	59	0.54	0.58	1.6
Max	7.8	0.60	51	67	66	78	0.74	0.94	3.6
Moda	7.7	0.09	40	45	16	67	0.66	0.58	2.2

[†]CE: conductividad eléctrica del suelo en una relación 1:5. [‡]Pt: porosidad total. [§]θ: contenido volumétrico de agua del suelo a capacidad de campo. ^bDa: densidad aparente. [¶]Dr: densidad real. ♦ [‡]CE: electric conductivity of the soil in a 1:5 relation. [‡]Pt: total porosity. [§]θ: volumetric content of soil water at field capacity. ^bDa: apparent density. [¶]Dr: real density.

El N evaluado corresponde al N total del suelo (formas orgánicas e inorgánicas) por lo que estos valores no son indicadores del N disponible. Respecto al P, dado que el pH de estos suelos va de neutro a medianamente alcalino, es probable una baja solu-

P for habanero chili production in Yucatán soils is 11.9 mg kg⁻¹; in this study, the values of P were above the critical level in 16 soils (67 % of those assessed) (Table 3). Based on the NOM-021-RECNAT-2000, the CIC values would indicate the

Cuadro 3. Propiedades químicas y contenido nutrimental de suelos de Yucatán cultivados con chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).**Table 3. Chemical properties and nutrient content of Yucatán soils cultivated with habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.).**

Suelo	MO [†]	CIC [‡]	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
	%	meq 100 g ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	(cmol(+) kg ⁻¹)				(mg kg ⁻¹)		
1	9.5	38	0.48	6.1	2.84	24	2.84	0.40	4.3	0.29	25
2	10.0	43	1.19	26.0	3.27	47	1.59	0.25	14.1	0.79	7
3	10.0	48	0.80	27.4	5.46	40	2.87	0.08	8.6	1.05	9
4	12.1	29	0.67	34.8	3.12	21	3.12	0.46	4.4	0.94	12
5	20.0	52	1.03	22.2	2.60	45	2.60	0.32	5.9	0.66	8
6	4.3	43	0.24	7.6	3.12	30	1.30	0.87	4.0	0.38	51
7	17.2	44	1.10	33.2	2.23	45	2.23	0.26	6.2	3.56	8
8	2.6	30	0.20	25.6	3.51	15	3.51	1.01	3.8	0.52	75
9	2.6	42	0.14	11.5	4.37	24	4.37	0.89	13.3	0.44	13
10	2.6	35	0.17	37.4	4.91	18	4.91	1.01	9.2	0.45	28
11	5.2	25	0.25	4.8	1.22	19	1.22	0.52	3.6	0.39	85
12	5.3	27	0.24	9.7	1.22	21	1.18	0.55	4.0	0.36	86
13	5.2	34	0.27	66.7	3.17	16	3.17	1.13	3.0	2.38	24
14	4.4	26	0.19	24.1	2.73	11	2.73	0.57	2.6	0.57	54
15	2.4	32	0.21	29.8	1.16	14	1.16	0.73	3.5	0.81	75
16	7.6	23	0.26	46.3	2.01	11	2.01	1.05	10.2	1.35	26
17	5.1	23	0.25	34.0	1.30	17	1.30	0.77	2.7	2.57	44
18	7.6	32	0.29	2.8	1.05	31	1.05	0.48	3.6	0.41	57
19	7.6	31	0.33	3.1	0.89	25	0.89	0.09	3.6	0.27	68
20	5.2	25	0.23	6.3	3.43	12	3.43	0.51	2.8	0.43	63
21	5.1	29	0.20	23.2	1.26	20	1.26	0.75	3.6	0.30	83
22	15.8	34	0.88	33.5	1.71	44	1.71	0.61	8.0	1.14	23
23	9.9	43	0.39	8.2	3.26	33	3.26	0.08	5.7	0.35	35
24	7.4	35	0.26	21.2	1.64	25	1.64	1.05	3.0	0.80	13
Media	7.7	34	0.43	22.7	2.61	26	2.31	0.60	5.6	0.88	40
σ	4.7	8.0	0.33	15.7	1.23	11.5	1.12	0.33	3.31	0.83	28
CV (%)	61	24	76.00	69	47	45	49	54	59	94	69
Min	2.4	23	0.14	3	0.88	11	0.89	0.08	2.6	0.3	6
Max	20	52	1.20	67	5.46	47	4.91	1.13	14	3.6	86
Moda	2.6	NE	0.20	6	3.12	NE [§]	1.3	0.08	3.6	0.4	8

[†]MO: materia orgánica. [‡]CIC: capacidad de intercambio catiónico. [§]NE: no existe. ♦ [†]MO: organic matter. [‡]CIC: cation exchange capacity. [§]NE: non-existent.

bilidad de este elemento (Johnson *et al.*, 2003). Según Borges-Gómez *et al.* (2008) el nivel crítico de P para la producción de chile habanero en suelos de Yucatán es de 11.9 mg kg⁻¹; en el presente estudio, en 16 suelos (67 % de los evaluados) (Cuadro 3) los

presence of clays types kaolinite, hydrated mica and chlorite. However, it is likely that these values are due to the high proportion of OM in these soils (Baustita *et al.*, 2005). According to Oorts *et al.* (2003), the OM can contribute up to 75 and 80 % to the CIC.

valores de P fueron mayores al nivel crítico. Con base en la NOM-021-RECNAT-2000, los valores de CIC indicarían la presencia de arcillas del tipo caolinitas, micas hidratadas y cloritas. Sin embargo, es probable que estos valores se deban a la proporción alta de MO de estos suelos (Baustita *et al.*, 2005). Según Oorts *et al.* (2003) la MO puede contribuir hasta 75 y 80 % en la CIC. Respecto a K, el 92 % de los suelos mostraron niveles muy altos ($>0.6 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$). La variabilidad del contenido de K en suelos de Yucatán se atribuye a la naturaleza y proporción de los coloides presentes (Borges-Gómez *et al.*, 2005). Todos los suelos tuvieron niveles muy altos de Ca ($>10 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$) y niveles de medio a alto de Mg ($1.3\text{-}5.5 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$), debido a su origen calcáreo (Wilson, 1980).

Los contenidos Fe son bajos ($2.6\text{-}4.5 \text{ mg kg}^{-1}$) en 63 % de los suelos y de Zn ($0.3\text{-}0.8 \text{ mg kg}^{-1}$) en 75 % de los suelos. Pero 88 % de los suelos son altos en Cu ($>0.2 \text{ mg kg}^{-1}$) y en Mn ($>1 \text{ mg kg}^{-1}$) (Cuadro 3). Sin embargo, la disponibilidad de Ca y Mn es limitada para las plantas debido al pH de estos suelos y la baja solubilidad de los micronutrientes en suelos calizos (Lucena, 2009; Arizmendi-Galicia *et al.*, 2011). Por tanto en la producción de chile habanero se aplica Cu, Fe, Zn y Mn (Soria *et al.*, 2002).

La mayoría de los suelos mostraron una textura franco limosa con algunas diferencias en la proporción de arena, limo y arcilla. Los porcentajes de porosidad son altos debido a la baja densidad aparente asociada con un alto contenido de MO. Según Ruiz-Camacho *et al.* (2009), la porosidad debe ser considerada un indicador de la calidad del suelo por su capacidad para almacenar agua y permitir el intercambio fisicoquímico y biológico entre las diferentes fases en el suelo. Los valores de porosidad en este estudio fueron de 59 a 78 %, lo cual favorece los flujos superficiales (Germer *et al.*, 2010). Respecto al contenido de MO, Martínez *et al.* (2008) señalaron que la MO del suelo favorece la retención de humedad, por lo que el contenido volumétrico de humedad del suelo a capacidad de campo es alto ($0.61\text{-}0.64 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Pero estos mismos autores indicaron que la MO favorece la proporción de poros grandes en el suelo los cuales retienen el agua con menor energía. Es probable que el drenaje superficial rápido que caracteriza a estos suelos se deba a los contenidos altos de MO, además de ser suelos delgados y pedregosos que favorecen la infiltración.

Cuadro 4. Valores obtenidos y estadística descriptiva de propiedades físicas y contenido nutrimental en el extracto de pasta saturada de 24 suelos de Yucatán cultivados con chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).

Table 4. Values obtained and descriptive statistics of physical properties and nutrient content in the saturated paste extract from 24 soils in Yucatán cultivated with habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.).

Suelo	pH eps [†]	CE eps [‡] (dS m ⁻¹)	NO ₃
1	6.7	3.6	36.3
2	7.6	1.7	29.7
3	7.5	1.4	31.7
4	7.5	2.1	31.6
5	7.3	2.2	25.3
6	7.0	1.1	66.3
7	7.5	1.5	66.3
8	7.3	1.4	55.8
9	7.6	2.5	32.9
10	7.0	3.3	24.7
11	7.2	1	27.7
12	6.9	1.5	27.9
13	7.4	1.7	27.9
14	6.7	2.4	21.7
15	6.5	1.1	30.0
16	6.7	1	52.3
17	7.1	1.7	42.3
18	5.9	1.5	20.3
19	6.8	0.9	20.5
20	6.9	1	33.3
21	6.8	1.1	43.3
22	7.4	2.2	29.3
23	6.9	0.9	32.7
24	7.3	1.1	32.9
Media	7.1	1.7	35.1
σ	0.40	0.73	13.0
CV (%)	6	44	37
Min	5.9	0.9	20
Max	7.6	3.7	66
Moda	7.3	1.1	33

[†]pH eps: pH del suelo en el extracto de pasta saturada. [‡]CE eps: conductividad eléctrica del suelo en el extracto de pasta saturada.

♦ [†]pH eps: soil pH in the saturated paste extract. [‡]CE eps: electric conductivity of the soil in the saturated paste extract.

La CE fue baja ($0.9\text{--}2\text{ dS m}^{-1}$) para 71 % de los suelos analizados por lo cual estos suelos no presentarían problemas asociados con salinidad. Según Villa-Castorena *et al.* (2006), en *Capsicum* la absorción de nutrimentos disminuye durante la etapa de crecimiento si los valores de CE son 3.5 y 5.5 dS m^{-1} .

Los contenidos de los nutrimentos solubles (NO_3 , P y K) obtenidos en el extracto de pasta a saturación fueron bajos (Cuadro 4). Por tanto, la fertilización química para la producción de chile habanero es indispensable, y para producir chile habanero en estos suelos se usa una fertilización de 95 a 250 kg ha^{-1} de N, P o K (INIFAP, 1997; Tun, 2001; Soria *et al.*, 2002).

De acuerdo con Vergara-Sánchez *et al.* (2005), el diagnóstico del nivel de fertilidad del suelo se basa en comparaciones con valores de referencia establecidos mediante procedimientos empíricos, ya que generalmente estos valores se obtienen de condiciones distintas a la de los sitios donde se pretende aplicarlos. Así, en suelos diagnosticados como altos en nutrimentos hay respuesta a la fertilización en la producción de cultivos. Con base en la NOM-021-RECNAT-2000, 96 % de los suelos del estado de Yucatán donde se cultiva chile habanero son ricos en N (96 %), P (67 %) y K (92 %); 100 % son altos en Ca, 75 % de medio a alto de Mg, 88 % adecuados en Cu, 100 % adecuados en Mn, y sólo Fe (63 %) y Zn (75 %) son deficientes.

Las características del chile habanero del estado de Yucatán se atribuyen a factores de manejo agronómico (Quintal *et al.*, 2012; Cruz *et al.*, 2012), ambientales (González *et al.*, 2010; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2008) y genéticos (Canto-Flick *et al.*, 2008; Latournerie-Moreno *et al.*, 2002). Además, el suelo en el cual se produce es un indicador geográfico que contribuye a las características del chile habanero.

Muchas características del suelo afectan directa o indirectamente el desarrollo de las plantas: el porcentaje de piedras, profundidad, textura, materia orgánica cuya proporción afecta la porosidad, abastecimiento de agua, capacidad de intercambio de cationes y reserva de nutrimentos, son relevantes para el crecimiento de las plantas (Hewitt, 2004). Así, para otros productos que han obtenido su denominación de origen se reportan las condiciones del suelo donde son producidos. Este es el caso del *Agave tequilana* Weber, var. azul de la zona de denominación de origen de Tequila (Pérez y Del Real, 2007), y el mango

In regard to K, 92 % of the soils showed very high levels ($>0.6\text{ cmol}_{(+)}\text{ kg}^{-1}$). The variability in K content in Yucatán soils is attributed to the nature and proportion of the colloids present (Borges-Gómez *et al.*, 2005). All the soils had very high levels of Ca ($>10\text{ cmol}_{(+)}\text{ kg}^{-1}$) and medium to high levels of Mg ($1.3\text{--}5.5\text{ cmol}_{(+)}\text{ kg}^{-1}$), due to their calcareous origin (Wilson, 1980).

The contents of Fe are low ($2.6\text{--}4.5\text{ mg kg}^{-1}$) in 63 % of the soils and of Zn ($0.3\text{--}0.8\text{ mg kg}^{-1}$) in 75 % of the soils. However, 88 % of the soils are high in Cu ($>0.2\text{ mg kg}^{-1}$) and in Mn ($>1\text{ mg kg}^{-1}$) (Table 3). Nevertheless, the availability of Ca and Mn is limited for plants because of the pH in these soils and the low solubility of micronutrients in limestone soils (Lucena, 2009; Arizmendi-Galicia *et al.*, 2011). Therefore, Cu, Fe, Zn and Mn are applied in the production of habanero chili (Soria *et al.*, 2002).

Most of the soils showed a silt loam texture with some differences in the proportion of sand, loam and clay. The porosity percentages are high due to the low apparent density associated to a high content of OM. According to Ruiz-Camacho *et al.* (2009), porosity should be considered an indicator of the soil quality because of its ability to hold water and allow the physical, chemical and biological exchange between the different phases of the soil. The porosity values in this study ranged from 59 to 78 %, favoring the superficial flows (Germer *et al.*, 2010). In terms of the OM content, Martínez *et al.* (2008) suggest that the soil OM favors moisture retention, so that the volumetric content of moisture in the soil at field capacity is high ($0.61\text{--}0.64\text{ cm}^3\text{ cm}^{-3}$). However, these same authors point out that OM favors the proportion of large pores in the soil, which retain water with less energy. It is likely that the quick superficial drainage that characterizes these soils is due to the high contents of OM, in addition to being thin and rocky soils that favor infiltration.

The CE was low ($0.9\text{--}2\text{ dS m}^{-1}$) for 71 % of the soils analyzed, which is why these soils would not present problems associated with salinity. According to Villa-Castorena *et al.* (2006), in *Capsicum* the absorption of nutrients decreases during the growing stage if the CE values are 3.5 and 5.5 dS m^{-1} .

The contents of soluble nutrients (NO_3 , P and K) obtained in the paste extract at saturation were low (Table 4). Therefore, chemical fertilization for the production of habanero chili is essential, and in order

ataulfo de Soconusco Chiapas con denominación de origen desde 1994 (Diario Oficial de la Federación, 1994).

CONCLUSIONES

Los suelos del estado de Yucatán donde se cultiva chile habanero tienen una alta heterogeneidad como lo muestran los valores altos de desviación estándar y coeficiente de variación de las características físicas y químicas evaluadas. Estos suelos son de textura franco limosa, densidad aparente baja, porosidad alta que facilita la aireación y el drenaje, pH de neutro a medianamente alcalino, muy ligeramente salino, con contenido alto de MO, elevada CIC, concentraciones altas de N, P, K y Ca, contenidos de medio a alto de Mg, niveles adecuados de Cu y Mn, pero deficientes en Fe y Zn.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los Fondos Mixtos del CONACYT Yucatán (CONCITEY) por el financiamiento otorgado para la realización del trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

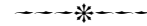
- Arizmendi-Galicia, N., P. Rivera-Ortiz, F. de la Cruz-Salazar, B. I. Castro-Meza, y F. de la Garza-Requena. 2011. Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos. *Terra Latinoam.* 29: 231-237.
- Bautista F., D. Palma-López, y W. Huchin-Malta. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán. In: Bautista, F., y G. Palacio (eds). *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. pp: 105-122.
- Borges-Gómez, L., A. Escamilla-Bencomo, M. Soria-Fregoso, y V. Casanova-Villarreal. 2005. Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoam.* 23: 437-445.
- Borges-Gómez, L., M. Soria-Fregoso, V. Casanova-Villarreal, E. Villanueva-Cohuo, y G. Pereyda-Pérez. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia* 42: 21-27.
- Bosland P., W., and J. B. Baral. 2007. 'Bhut Jolokia' the world's hottest known chile pepper is a putative naturally occurring interspecific hybrid. *HortScience* 42: 222-224.
- Canto-Flick, A., E. Balam-Uc, J. J. Bello-Bello, C. Lecona-Guzmán, D. Solís-Marroquín, S. Avilés-Viñas, E. Gómez-Uc, G. López-Puc, and N. Santana-Buzzy. 2008. Capsaicinoids content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.): hottest known cultivars. *Hortscience* 43(5): 1344-1349
- to produce habanero chili in these soils, fertilization ranging from 95 to 250 kg ha⁻¹ of N, P or K is used (INIFAP, 1997; Tun, 2001; Soria *et al.*, 2002).
- According to Vergara-Sánchez *et al.* (2005), the diagnosis of the level of fertility of the soil is based on comparisons with reference values established through empirical procedures, since these values are generally obtained under different conditions than the sites where they are intended to be applied. Thus, it is observed that soils diagnosed as high in nutrients respond to fertilization in crop production. Based on NOM-021-RECNAT-2000, 96 % of the soils in the state of Yucatán where habanero chili is grown are rich in N (96 %), P (67 %) and K (92 %); 100 % are high in Ca, 75 % medium to high in Mg, 88 % adequate in Cu, 100 % adequate in Mn; and only Fe (63 %) and Zn (75 %) are deficient.
- The characteristics of habanero chili in the state of Yucatán are attributed to factors of agronomic (Quintal *et al.*, 2012, Cruz *et al.*, 2012), environmental (González *et al.*, 2010; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2008) and genetic (Canto-Flick *et al.*, 2008; Latournerie-Moreno *et al.*, 2002) management. In addition, the soil where it is produced is a geographic indicator that contributes to the characteristics of habanero chili.
- Many characteristics of the soil directly or indirectly affect plant development: percentage of rocks, depth, texture, organic material whose proportion affects porosity, water supply, capacity for cation exchange and nutrient reserve; these are all important for plant growth (Hewitt, 2004). Thus, for other products that have obtained their denomination of origin, soil conditions of the location where they are produced are reported. This is the case of *Agave tequilana* Weber, var. azul, from the denomination of origin zone in Tequila (Pérez and Del Real, 2007), and the ataulfo mango from Soconusco, Chiapas, with denomination of origin since 1994 (Diario Oficial de la Federación, 1994).

CONCLUSIONS

Soils in the state of Yucatán, where habanero chili is cultivated, have a high heterogeneity as is shown by the high values in standard deviation and coefficient of variation of the physical and chemical characteristics evaluated. These soils are of silt loam texture, low apparent density, high porosity that facilitates aeration and drainage, neutral to

- Cruz C., J. M., J. L. Medina A., y F. A. Larqué S. 2012. Efecto de aspersiones del dimetilsulfóxido en la productividad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Rev. Mex. Ciencias Agríc. 4 1: 785-788
- Diario Oficial de la Federación. 2010. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Chile Habanero de la Península de Yucatán. 4 de junio de 2010.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Mango Ataulfo del Soconusco Chiapas. 2 de agosto de 1994.
- Duch G., J. 1988. La Conformación Territorial del Estado de Yucatán: Los Componentes del Medio Físico. Universidad Autónoma de Chapingo, CIR. Texcoco, México. 427 p.
- Duch G., J. 1991. Fisiografía del Estado de Yucatán. Su Relación con la Agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. CIR. Texcoco, México. 228 p.
- Escamilla A., F. Quintal, F. Medina, A. Guzmán, E. Pérez, y L. M. Calvo 2005. Relaciones suelo-planta en ecosistemas naturales de la península de Yucatán: Comunidades dominadas por palmas. In: Bautista F., y G. Palacio (eds). Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. pp: 159-172.
- Fernández B., M., y M. González D. 2001. Los indicadores geográficos como garantía de calidad: Organización y perspectivas en el sector agroalimentario. Rev. Asturiana Econ. 22: 27-43.
- Germer S., C. Neill, A. Krusche, and H. Elsenbeer. 2010. Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: undisturbed forest to pasture. J. Hydrol. 380: 473-480.
- González-Estrada, T. 2006. Habanero growing systems. Fieri Foods 42:21-23.
- González E., T., C. Casanova Ch., L. Gutiérrez P., T. Torres T., F. Contreras M., y S. Peraza S. 2010. Chiles cultivados en Yucatán. Uso de la Biodiversidad. 342-344.
- Hewitt, A. 2004. Soil properties for plant growth. Landcare Research Science Series No. 26. Lincoln, Canterbury, New Zealand. 26 p.
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 1997. Fertigación de chile habanero en suelos pedregosos de Yucatán. In: Tecnologías Llave en Mano. División Agrícola. Tomo I. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F. pp: 238-241
- Islas-Flores, I., T. González-Estrada, and M. A. Villanueva. 2005. The capsaicin: just as hot as hell? Recent Res. Develop. Biochem. 6:121-132.
- Jarquín-Sánchez, A., S. Salgado-García, D. J. Palma-López, W. Camacho-Chiu, y A. Guerrero-Peña. 2011. Análisis de nitrógeno total en suelos tropicales por espectroscopía de infrarojo cercano (NIRS) y quimiometría. Agrociencia 45: 653-662.
- Johnson P., G., R. T. Koenig, and K. L. Kopp. 2003. Nitrogen, phosphorus, and potassium responses and requirements in calcareous sand greens. Agron. J. 95: 697-702
- moderately alkaline pH, very slightly saline, with high OM content, high CIC, high concentrations of N, P, K and Ca, medium to high contents of Mg, adequate levels of Cu and Mn, and deficient in Fe and Zn.

—End of the English version—



- Latournerie-Moreno, L., J. L. Chávez-Servia, M. Pérez-Perez, G. Castañón-Nájera, S. A. Rodríguez-Herrera, L. M. Arias-Reyes, y P. Ramírez-Vallejo. 2002. Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. Rev. Fitotec. Mex. 25: 25-33.
- Lucena J. J. 2009. El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. Rev. Ceres 4: 527-535.
- Martínez H., E., J. P. Fuentes E., y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. J. Soil Sci. Plant Nutr. 8(1): 68-96.
- Medina-Lara, F., I. Echevaría-Machado, R. Pacheco-Arjona., N. Ruiz-Lau, A. Guzmán-Antonio, and M. Martínez-Estevéz. 2008. Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting an capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). HortScience 43(5): 1549-1554.
- Navarro B., A., B. Figueroa S., D. M. Sangerman-Jarquín, y E. S. Osuna C. 2012. Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. Rev. Mex. Ciencias Agríc. (4): 690-697.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación. 17 octubre 2000.
- NOM-189-SCFI-2012 (Norma Oficial Mexicana). 2013. Chile Habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.) especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. 30 noviembre 2012
- Oorts K., B. Vanlauwe, and R. Merckx. 2003. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. Agric. Ecosys. Environ. 100: 161-171.
- Pérez D., J. F., y J. I. Del Real L. 2007. Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. 196 p. http://www.inifapcirne.gob.mx/Revistas/Archivos/agave_final_baja%20resolucion.pdf
- Pérez-Gutiérrez, A., A. Pineda-Doporto, L. Latournerie-Moreno, W. Pam-Pech, y C. Godoy-Ávila. 2008. Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. Terra Latinoam. 26: 53-59.2008
- Petersen R., G., and L. D. Calvin. 1986. Sampling. In: Klute, A. (ed). Methods of Soil Analysis, Part 1. 2nd Ed. Agronomy. pp: 33-51.

- Quintal O., W., A. Pérez-Gutiérrez, L. Latournerie M., C. May-Lara, E. Ruiz S., y A. J. Martínez Ch. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero. *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (2): 155 -160.
- Ramírez J., G., W. Avilés B., y R. Dzib E. 2006. Áreas de potencial productivo para chile habanero *Capsicum chinense* Jacq. en el estado de Yucatán. *In: Memorias de la Primera Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal.* Mérida, Yucatán, México. pp: 66.
- Ruiz-Camacho, N., E. Velásquez, A. Pando, T. Decaens, et F. Dubs. 2009. Indicateurs synthétiques de la qualité du sol. *Etude et Gestion des Sols* 16: 323-338.
- SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: febrero 2011).
- Soria F, M., J. Tun D., A. Trejo R., y R. Terán G. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). SEP. DGETA. ITA-2 Conkal, Yuc, México. 75 p. http://www.cofupro.org.mx/cofupro/archivo/fondo_sectorial/Michoacan/32michoacan.pdf.
- Tun D., C. 2001. Características y tecnología de producción del chile habanero. SAGARPA. INIFAP-PRODUCE. Mérida, Yuc. México. 74 p. <http://biblioteca.inifap.gob.mx>.
- Vergara-Sánchez, M., J. D. Etchevers-Barra, y J. Padilla-Cuevas 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39: 259-266.
- Villa-Castorena, M., E. A. Catalán-Valencia, M. A. Inzunza-Ibarra, e I. Sánchez-Cohen. 2006. La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrientes en plantas de chile. *Terra Latinoam.* 24: 391-399.
- Wilson E., M. 1980. Physical geography of the Yucatan peninsula. *In: Moseley E., H., and E.D. Terry (eds).* Yucatan A World Apart. University of Alabama. USA. pp: 5-4.