

CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO A TRAVÉS DEL TIEMPO EN LOS SISTEMAS DE MAÍZ BAJO TEMPORAL Y MANGO BAJO RIEGO EN LUVISOLES DEL ESTADO DE CAMPECHE

Changes in time in the physical properties of the soil in rain-fed maize and irrigated mango systems in Luvisols in the state of Campeche

J Medina-Méndez , VH Volke-Haller, J González-Ríos, A Galvis-Spínola, MJ Santiago-Cruz, JI Cortés-Flores

(JMM)(VHVH)(JGR)(AGS)(MJSC)(JLCF) Programa de Edafología. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Montecillo, estado de México. jmedina@colpos.mx.

Artículo recibido: 11 de noviembre de 2005, **aceptado:** 8 de noviembre de 2006

RESUMEN. Se evaluaron los cambios ocurridos a lo largo de un período de 30 años, en algunas propiedades físicas y la materia orgánica del suelo, en los Luvisoles del estado de Campeche, en los sistemas de maíz bajo temporal (SMT) y mango bajo riego (SMR). También se consideró como referencia al sistema de vegetación natural (SVN). Este período se dividió en seis estratos: de 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20, 21 a 25 y de 26 a 30 años. En cada estrato de tiempo se seleccionaron ocho parcelas de productores, en las que se realizaron las mediciones respectivas. La materia orgánica disminuyó en el SMT (4.8 a 3.6 %) y se incrementó en el SMR (3.9 a 5.9 %). En el SMT se incrementaron los agregados menores de 1.0 mm y mayores de 11.5 mm, mientras que en el SMR, aumentaron los agregados de 1.0 a 11.5 mm. La estabilidad de los agregados en seco y en húmedo presentó valores calificados como buenos a excelentes en ambos sistemas, al igual que en el SVN. La velocidad de infiltración disminuyó en el SMT y aumentó en el SMR, pero en ambos casos fue inferior a la observada en el SVN. Las propiedades de densidad real y porosidad manifestaron escasa variación con el tiempo. La humedad aprovechable no varió en el SMT pero sí en el SMR, aunque sin mostrar una tendencia definida.

Palabras clave: Luvisol, propiedades físicas, tiempo de uso del suelo.

ABSTRACT. The changes that took place over 30 years in some physical properties and the organic matter in Luvisols of the state of Campeche were evaluated in relation to rain-fed maize (RMS) and irrigated mango (IMS) systems. The natural vegetation system (NVS) served as reference. This time period was divided into six strata: from 1 to 5, 6 to 10, 11 to 15, 16 to 20, 21 to 25, and 26 to 30 years. Eight producer lots were selected within each time stratum, and the respective measurements were made in each one. The organic matter content decreased in the RMS (4.8 to 3.6 %) and increased in the IMS (3.9 to 5.9 %). Aggregates smaller than 1.0 mm and larger than 11.5 mm increased in the RMS, whereas aggregates from 1.0 to 11.5 mm increased in the IMS. The stability of the dry and wet aggregates was classified as good to excellent in both systems, as well as in the NVS. The infiltration speed decreased in the RMS and increased in the IMS, but in both cases it was less than that observed in the NVS. The properties of bulk density and porosity varied little in time. The available humidity did not vary in the RMS but did in the IMS, although without a definite trend.

Key words: Luvisol, physical properties, time of land use.

INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de los agroecosistemas con fines de producir alimentos y productos para la sociedad, ha originado en mayor o menor medida cambios y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con el consiguien-

te efecto de disminución sobre la productividad y la producción en general (Lal 2000).

Entre los procesos físicos que causan el deterioro del suelo se encuentra la pérdida de la estructura, derivada del excesivo laboreo del suelo y el tránsito de maquinaria, así como del pisoteo de los animales en los pastizales y agostaderos sometidos

al sobrepastoreo (Leiva 1998). El excesivo laboreo del suelo causa la destrucción de los agregados, a la vez que incrementa la aireación y con ello la descomposición de la materia orgánica (MO) por la flora microbiana del suelo, lo que además disminuye la estabilidad y la resistencia de los agregados a las fuerzas externas (Wilding & Oleschko 1994; Rienk 1997; Gibbs & Reid 1988). A esta causa de disminución de la MO se suma la quema de los residuos de cosecha que realizan muchos agricultores, con lo que disminuye una fuente de entrada de ella al suelo (Pool-Novelo 1980). El resultado final de la destrucción de la estructura del suelo por el excesivo laboreo, conjuntamente con el tránsito de la maquinaria y el sobrepastoreo, es la compactación de los horizontes superficiales del suelo, así como la formación de capas compactadas o pisos de arado (Lal 2000; Botta et al. 2003).

La compactación del suelo causa disminución de la macroporosidad y con ello afecta su capacidad de infiltración, lo cual dificulta la entrada y el flujo de agua al interior del suelo, ocasionando un mayor escurrimiento superficial, erosión y una menor capacidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo, lo cual tiene especial importancia en áreas agrícolas de temporal (Lal & Greenland 1979; Leiva 1998). También la compactación, y en especial las capas endurecidas y pisos de arado, originan una barrera o impedimento mecánico para la penetración de las raíces, disminuyendo con ello su capacidad de exploración y extracción de agua y nutrientes. Por otra parte, la disminución de la macroporosidad restringe la aireación del suelo, limitando al sistema radical de las plantas. Finalmente, de una o más maneras, la pérdida de la estructura y compactación de los suelos afectan su calidad y, consecuentemente, los rendimientos de los cultivos (Lal & Greenland 1979; FAO 1986; Gibbs & Reid 1988; León et al. 1998; Gutiérrez-Castorena et al. 1999; León-Arteta 2003). Debido a que la compactación incrementa la densidad aparente del suelo su caracterización se ha hecho con base en esta propiedad, sin embargo, esta determinación es poco sensible, especialmente en suelos arcillosos, por lo que hay quienes opinan que resultan más adecuadas otras determinaciones, tales como la distribución del tamaño de los poros y las tasas de infiltración y difusión (Lal 2000).

La textura es una propiedad física relacionada

con la proporción de partículas de diferentes tamaños existentes en un suelo, la cual influye de forma tal que suelos arenosos y arcillosos contrastan en cantidad y tipo de porosidad. En los primeros, el espacio poroso va de 35 a 50 %, predominando los macroporos, mientras que en los segundos, éste alcanza valores de 40 a 60 %, estando dominado por microporos. Debido a ello, en los suelos arenosos hay un rápido movimiento de aire y agua en el interior, mientras que en los suelos arcillosos, por la deficiente circulación del aire y agua, la infiltración se ve limitada y genera un ambiente anaeróbico, que afecta el desarrollo de la raíz y el crecimiento de las plantas en general (Ortiz-Villanueva 1975; Scott 2000; Warrick 2002).

La unión de partículas primarias individuales del suelo forma partículas secundarias de mayor tamaño llamadas agregados. Así mismo, el tamaño, forma y arreglo de los agregados, así como los poros contenidos entre y dentro de ellos, da lugar a la estructura del suelo, propiedad que influye en los flujos del agua, solutos, aire y calor en el interior del suelo. La estabilidad de los agregados indica cuán resistentes son estos al rompimiento y dispersión por efecto de causas externas, y está correlacionada positivamente con la presencia de los agentes cementantes, especialmente la MO, por lo que al igual que ésta, decrece con la labranza (Lal & Greenland 1979; Wild 1992; Rienk 1997; Gibbs & Reid 1988). La estabilidad de agregados es utilizada para evaluar la estructura del suelo, y es determinada por medio del tamizado en húmedo o el tamizado en seco. Estos métodos cuantifican, por una parte, la resistencia de los agregados al humedecimiento y su posterior rompimiento y dispersión por la acción del agua, y por otra, la resistencia al rompimiento y desagregación por la acción de las herramientas de labranza (Kemper & Rossenau 1986; Wild 1992).

La densidad real (D_r) relaciona el peso de las partículas sólidas de un suelo con el volumen ocupado por ellas sin tomar en cuenta la porosidad, por lo cual presenta valores relativamente constantes, mientras que la densidad aparente (D_a) es dependiente de la porosidad, y por esto mismo, adquiere valores muy variables aún en un mismo tipo de suelo, y es muy afectada por las actividades de manejo y la cantidad de MO (Brady & Weil 1999; Warrick 2002). Una excesiva densidad aparente afecta a la

planta porque inhibe la penetración de las raíces y su desarrollo. En suelos de textura fina, valores de 1.4 Mg m^{-3} en la D_a puede restringir el crecimiento de la raíz, pero en suelos de textura gruesa, este efecto se presenta cuando la D_a alcanza un valor de 1.6 Mg m^{-3} (FAO 1986; León-Arteta 2003). Los valores de la D_a y la D_r permiten calcular el porcentaje de porosidad total (Pt) mediante la expresión: $Pt = (1 - (D_a/D_r)) \times 100$ (Rodríguez-Fuentes & Rodríguez-Absi 2002).

El término capacidad de campo (CC) se refiere al contenido de humedad que un suelo saturado puede retener dentro de sus poros bajo la acción de drenado que origina la fuerza de gravedad. Normalmente es aceptado que la CC es equivalente a la humedad que un suelo saturado retiene al aplicársele una fuerza de succión de 33 kPa. El contenido de MO afecta directa y positivamente la CC, al igual que el contenido de arcilla, de manera tal que a mayor cantidad de MO y arcilla se incrementan el valor de la CC. Por otra parte, el punto de marchitez permanente (PMP) se refiere al contenido de humedad del suelo en una cantidad tal que resulta menor a la capacidad absorción del agua por la raíz para satisfacer la demanda de la planta. Por convención, se acepta que el valor del PMP equivale a la humedad residual de un suelo saturado después de la aplicación de una fuerza de succión de 1500 kPa. Una mayor cantidad de MO reduce el valor del PMP, mientras que la predominancia de arcilla lo incrementa. La determinación de la CC puede realizarse en campo dándole al suelo una condición de saturación, seguida de un tiempo de drenado de 48 horas, o en laboratorio mediante el método de la olla de presión. Por su parte, el PMP se determina de manera empírica mediante el uso de plantas indicadoras, o en laboratorio por medio de la membrana de presión (Lal & Greenland 1979; Ordaz-Chaparro 1999; Palacios-Vélz 2002; Rodríguez-Fuentes & Rodríguez-Absi 2002). La diferencia de humedad entre ambas propiedades da lugar al porcentaje de humedad aprovechable para las plantas (HA), que se obtiene de la expresión $HA = (CC - PMP)$, donde la humedad aprovechable en CC equivale a 100 % y en PMP es de 0 %.

La tasa de infiltración del agua en el suelo es importante en varios sentidos; por una parte, en relación con el agua que se infiltra y puede ser almacena-

da en el perfil del suelo, y por otro lado, con respecto al agua que no se infiltra y escurre sobre la superficie y es causante de erosión (Grossman & Prigle 1985). Así mismo, también es importante en el diseño y manejo de sistemas de riego (FAO 1986, Fuentes 2002; Holzapfel *et al.* 2004). La velocidad de infiltración (VI) indica la relación entre una lámina de agua que se infiltra y el tiempo, hecho que resulta dependiente de la permanencia del contacto suelo-agua, del contenido inicial de humedad del suelo, de su conductividad hidráulica y de las características de la superficie del suelo. En suelos secos, la VI es relativamente alta, pero disminuye con el tiempo de humedecimiento hasta llegar a un valor casi constante, que se denomina infiltración básica (Hanks & Ashcroft 1980), y que es muy cercano al valor de la característica del suelo conocida como conductividad hidráulica saturada (K) (Loveday 1974). Una de las ecuaciones más utilizadas para describir la VI es la de Kostiakov-Lewis, desarrollada en 1932, donde $I = Kt^{-n}$, en la que I = velocidad de infiltración en cm h^{-1} , K = la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial (donde $t=1$), t = tiempo en minutos y n = parámetro que indica la forma en que la VI se reduce con el tiempo (Hillel 1971; Aguilera *et al.* 1996; Palacios-Vélz 2002; Holzapfel *et al.* 2004). Para casos en que los datos de las infiltraciones se refieren a períodos largos, durante los cuales el valor de la infiltración llega a ser constante, la ecuación que mejor describe esta situación es $I = Kt^{-n} + b$, desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Aguilera *et al.* 1996), misma que indica que la curva de infiltración tiende a ser constante al valor de la infiltración básica (Palacios-Vélz 2002).

Los cambios que experimentan en el tiempo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo derivados de su uso agrícola o pecuario, originan un efecto de disminución sobre los agroecosistemas y su productividad, dependiendo de las condiciones climáticas y las características propias del suelo y del cultivo de que se trate (Ruiz-Figueroa 1995). El estudio sobre los cambios en las propiedades y su efecto sobre la productividad de los agroecosistemas puede hacerse observando la evolución de ellas en el tiempo en los distintos agroecosistemas, teniendo como referencia al ecosistema natural (Gandoy & Campos-Cascaredo 1992; Molina & Cáceres 1992;

Wilding & Oleschko 1994; Navar & Sinnott 2000; Sustaita-Rivera *et al.* 2000).

Entre los suelos mecanizables que se destinan a la agricultura en la Península de Yucatán se encuentran los Luvisoles de la clasificación FAO-UNESCO (1970), los cuales ocupan una superficie cercana a 1 021 000 ha en la región (Ruiz 1995), y por sus características físicas, profundidad y drenaje favorables, presentan un gran potencial para el desarrollo de diversos agroecosistemas. Varios investigadores han señalado que los Luvisoles según la clasificación de la FAO-UNESCO (1970), coincidían con los suelos Kankab de la nomenclatura de los mayas (Santos 1984; CNF 1988; Duch 1995; Pool & Hernández 1995; Palacios & Ramírez 1996; Ku *et al.* 2005). Así mismo, la SEMARNAP-Yucatán (1999) indicó que la unidad denominada Luvisol de la clasificación FAO-UNESCO (1970) coincidía con la denominada Lixisol de la FAO-UNESCO (1988) y la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, conocida por sus siglas en inglés como WRB. Ante la falta de un estudio actualizado de clasificación de suelos para el estado de Campeche, en este documento se ha optado por utilizar la denominación de Luvisoles para los suelos arcillosos, que poseen un horizonte superficial de color rojo a café rojizo y que regionalmente son conocidos como suelos Kankab por los agricultores (Santos-Ocampo 1984; Mariaca-Méndez *et al.* 1992).

En el estado de Campeche, se observa que en los Luvisoles se encuentran diversos sistemas de cultivos, así como sistemas de praderas de especies naturales e introducidas (Palacios-Pérez & Ramírez-Jaramillo 1996), y gran parte de las unidades de riego se encuentran en este tipo de suelo, del que se estima que sólo se riegan unas 24 mil hectáreas (Anónimo 2004).

Las características de los Luvisoles y la disponibilidad de riego en algunas áreas han conducido a un uso más o menos intensivo de ellos, con diferentes sistemas de cultivo. Sin embargo, esto se ha hecho con deficientes prácticas de manejo, causando su deterioro derivado de pérdidas de MO y fertilidad, así como por compactación, y finalmente un descenso de la productividad, lo que exige en poco tiempo de uso una mayor cantidad de insumos, tales como fertilizantes y herbicidas (Aguilar & Méndez 1993; Pool-Novelo & Hernández-Xolocotzi 1995; Mariaca-

Méndez *et al.* 1995). Investigaciones realizadas en la década de los 80 señalan que en los primeros 15 cm de profundidad de los Luvisoles cubiertos con vegetación natural, la MO podía superar el 9% (Pool-Novelo & Hernández-Xolocotzi 1995), mientras que Palacios-Pérez & Ramírez-Jaramillo (1996), sin precisar la profundidad de muestreo ni cultivo en particular, señalan que la mecanización de los Luvisoles, en un lapso aproximado de 20 años había hecho descender el contenido promedio de MO hasta niveles de 0.5 a 5.0%. Por otra parte, Medina-Méndez (1997) y Turrent-Fernández *et al.* (2004) indican que los promedios de MO en seis localidades de suelo Luvisol utilizados con el monocultivo de maíz de temporal por espacio de 24 a 28 años, fue de 2.8 a 3.0%, en los primeros 20 cm de profundidad.

El objetivo del presente trabajo fue determinar los cambios de algunas propiedades físicas del suelo en el tiempo, derivados del uso y manejo a que han estado sujetos, y su efecto sobre la productividad de los agroecosistemas de maíz de temporal y de mango de riego en los Luvisoles del estado de Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelo y clima del área de estudio

Los Luvisoles de la Península de Yucatán estuvieron cubiertos por selva mediana subperennifolia en un 76%, siendo ésta su vegetación original (CNF 1988; Cuanalo *et al.* 1989; CC 2002), y al expandirse la frontera agropecuaria a partir de los años 60, se han venido incorporando a la agricultura y la ganadería (Villafuerte & García 2002). En el estado de Campeche, estos suelos ocupan una superficie cercana a 270 mil hectáreas, concentradas principalmente en los municipios de Calkiní, Hecelchakán, Tenabo, Hopelchén y Campeche (Ku *et al.* 2005).

Entre las características de los Luvisoles, autores como Wright (1967), Santos-Ocampo (1984), CNF (1988), Duch (1995), Palacios-Pérez & Ramírez-Jaramillo (1996), Pool-Novelo & Hernández-Xolocotzi (1995), y Turrent *et al.* (2004) mencionan a las siguientes: relieve plano con pendientes menores a 1.5%; color rojo a café rojizo; profundidad mayor que 1.0 m; textura arcillosa, con presencia de caolinita y halloisita; drenaje superfi-

cial moderadamente lento y drenaje interior muy eficiente; pH de 6.8 a 7.2; CIC y K, Ca y Mg intercambiables, de 14, 0.3, 12 y 2.3 cmol kg⁻¹, respectivamente; N, de 1.6%; P, de 6 ppm; MO, de 2.8% en suelos bajo cultivo y de 9% en suelos con vegetación natural.

El clima predominante en la región es AW₁, que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano, con 900 a 1 200 mm de precipitación anual, mismos que se distribuyen en alrededor de 85% entre mayo y octubre y el resto de noviembre a abril, temperatura media anual de 25.5 a 26.4 °C, con una máxima de 23.8 a 36.6 °C en el mes más cálido (mayo) y una mínima de 15.1 a 19.4 °C en el mes más frío (enero) (Cuanalo *et al.* 1989; Ku *et al.* 2005).

Sistemas de cultivo y su tecnología

La selección de los sistemas de cultivo se llevó a cabo utilizando la información del Anónimo (2002), con base en su importancia social y económica, mismos que fueron: maíz bajo temporal (SMT) y mango bajo riego (SMR), a la vez que también se consideró el ecosistema natural de selva mediana subperennifolia (SVN) para ser utilizado como sistema de comparación.

Dentro de los principales municipios productores de maíz y mango (Anónimo 2002) se identificaron aquellos con mayor superficie en Luvisoles, seleccionándose finalmente al municipio de Hecelchakán para realizar la investigación en el SMT, y los municipios de Tenabo y Campeche para el SMR. El maíz en el estado de Campeche registra una superficie sembrada de 140 mil hectáreas, con cerca de 29 mil productores (Ku *et al.* 2005), mientras que el mango se siembra en una superficie de 2 824 ha, que comprende tanto el de riego como el de temporal, por un total aproximado de 495 productores (Anónimo 2002; Cemango 2005).

La siembra del maíz en el SMT de los Luvisoles se realiza entre junio y julio, cuando inician las lluvias, y su cosecha se efectúa entre noviembre y diciembre. Se estima que la mayor parte de la superficie se siembra con variedades mejoradas, seguidas de los híbridos, y en último lugar las variedades criollas. Las variantes de siembra que se presentan son el maíz sólo, que predomina entre agricultores que realizan la cosecha en forma mecanizada, y el maíz

asociado con calabaza o con frijol de diferentes especies, utilizado sobre todo por agricultores que siembran manualmente pequeñas superficies. La preparación de suelo, la siembra y la cosecha se realizan en su mayor parte en forma mecanizada. El control de malezas se realiza predominantemente con herbicidas. La fertilización consiste generalmente en una sola aplicación de fertilizante a la siembra, o al inicio del ciclo del cultivo, basada usualmente en fosfato diamónico (18-46-00) en una cantidad que de 50 a 150 kg ha⁻¹. El rendimiento fluctúa de 2.0 a 2.5 t ha⁻¹ (Ku *et al.* 2005).

En el SMR la producción se orientó en un inicio hacia la exportación, teniendo predominio la variedad Tommy Atkins sobre otras, tales como Haden y Kent. El período de floración inicia generalmente en diciembre y puede continuar hasta febrero, cosechándose de abril a junio. El uso de tecnología para producir con calidad de exportación es escaso. Gran parte de la superficie se riega mediante el sistema de riego por gravedad. La aplicación de fertilizante es casi nula, el control de malezas se realiza mediante métodos mecánicos y químicos, y el control de enfermedades y plagas es deficiente y es una limitante de la producción y la calidad, en tanto que el rendimiento medio de mango como fruto fresco es del orden de 12 t ha⁻¹ (Anónimo 2004; Tucuch-Cahuich *et al.* 2005).

Selección de productores cooperantes

La información detallada que se utilizó en la selección de los productores cooperantes se obtuvo mediante entrevistas con representantes del sector agropecuario y asociaciones de productores, recorridos de campo, reuniones informativas y aplicación de encuestas y entrevistas a jefes de grupos de trabajo y productores del sector social y privado de diversas comunidades. La información básica a obtener fue el año de desmonte de las parcelas (en ambos sistemas de cultivo), año de establecimiento de los huertos en el caso del SMR, número de integrantes de cada grupo de trabajo, número de productores con superficie sembrada sobre suelo Luvisol, y aspectos tecnológicos y socioeconómicos.

El tiempo de uso del suelo se estratificó a partir del desmonte del terreno en el caso del SMT y del año de establecimiento de los huertos en el caso del SMR. La estratificación fue la siguiente: estrato

1, de 1 a 5 años; estrato 2, de 6 a 10 años; estrato 3, de 11 a 15 años; estrato 4, de 16 a 20 años; estrato 5, de 21 a 25 años y estrato 6, de 26 a 30 años. Para cada estrato se seleccionó preferentemente una comunidad, siendo la excepción los estratos uno y cinco del SMT, para los cuales se tuvieron que seleccionar dos comunidades distintas, mientras que en el SMR, para estos mismos estratos, tuvieron que seleccionarse tres y dos comunidades distintas, respectivamente. Las comunidades seleccionadas para el SMT fueron: Montebello, Yacamay, Sahcabchén, Tikín, Chencohuó, Poc-boc y Hecelchakán, mientras que para el SMR se seleccionaron: Cayal, E. Zapata, Castamay, Tikinmul y Tinún. Dentro de cada estrato de tiempo se seleccionaron ocho productores, dando lugar a 48 productores por cultivo.

Los criterios de selección para los productores cooperantes fueron: para el SMT, disposición a participar, tipo de suelo, terreno con desmonte en forma mecanizada, siembra de temporal, sin interrupciones en el tiempo de uso a partir de su desmonte, preparación del suelo con maquinaria, sin cultivos intercalados (al menos durante el ciclo de evaluación) y superficie no menor de 1.0 ha; y para el SMR, disposición a participar, variedad Tommy Atkins, tipo de suelo, terreno desmontado mecánicamente y huertos bajo riego, homogéneos (no mixtos), con el menor número de fallas de población y superficie no menor de 0.5 ha. Finalmente, salvo algunas excepciones, las parcelas seleccionadas para esta investigación variaron en superficie de 1.0 a 4.0 ha en el SMT, y de 0.5 a 2.0 ha para el SMR.

Los sitios de observación en el SVN tuvieron una superficie que varió desde 0.5 a 10.0 ha, aproximadamente, y fueron seleccionados por los propios agricultores de la comunidad, lo más cercano posible a sus parcelas, teniendo como criterio de selección el tipo de suelo y vegetación existente, sin signos de haber sido alterada por la actividad de rosa-tumba-quema, o haber sido quemada de manera accidental.

Muestreo del suelo y propiedades a determinar

El muestreo del suelo se realizó a una misma profundidad (0 a 20 cm), tanto en los sistemas de cultivo como en los sitios de vegetación natural; la definición de dicha profundidad de muestreo obedeció a la necesidad de realizar una comparación entre sistemas. También se consideró que la

labranza anual del suelo en el cultivo de maíz, en la región, no va más allá del perfil de 0-20 cm, y además, que los suelos dedicados ahora al cultivo de mango tuvieron un uso previo con maíz de temporal por un número variable de años a partir del desmonte, debido a lo cual se asumió que esta capa de suelo es la que podría presentar la mayor variación. En cada parcela seleccionada se tomaron de 15 a 20 submuestras y con ellas se formó una muestra compuesta. En el SMT y el SVN, el muestreo se llevó a cabo siguiendo un diseño semialineado en "zig-zag" (Aguilar *et al.* 1987; Salgado-García 1999). Esta modalidad de muestreo también se utilizó en el SMR en aquellas parcelas de forma angosta y con pocas hileras, pero en las de forma ancha y con muchas hileras (caso más frecuente), el muestreo se realizó utilizando un diseño no probabilístico semialineado en cruz, ubicando los sitios de muestreo en lugares más o menos equidistantes, en cinco árboles seleccionados, representativos, uno en cada esquina de la parcela y uno en la parte central de la misma (Valencia & Hernández 2002; León-Arteta 2003). Las submuestras (tres a cuatro por árbol), fueron extraídas de la parte media del radio de copa del árbol. La época de muestreo fue inmediatamente después de la cosecha en el maíz, y en el mango al inicio de la floración, antes de que los agricultores iniciaran el riego. Las propiedades físicas del suelo determinadas y los métodos utilizados se señalan en el Tabla 1.

RESULTADOS

Los estratos de tiempo de uso del suelo que se definieron para el SMT y el SMR, aunque ubicados en diferentes localidades, tuvieron como base un tipo de suelo similar, que coincidió también con el suelo del SVN utilizado como referencia. Además de la coloración rojiza del horizonte superficial (10R 2.5/1 a 10R 3/4) y su profundidad mayor de 1.5 m, otra característica común del suelo fue su elevado contenido de arcilla (de 67.7 a 75.8 % para el SMT, 63.9 a 70.8 % para el SMR y de 64.2 a 74.5 % para el SVN) (Tablas 2 y 3), lo que permitió realizar comparaciones entre los estratos dentro de los dos sistemas de cultivo.

El promedio de la densidad real (D_r) fue 2.56 $Mg\ m^{-3}$ para ambos sistemas de cultivo, y tendió a

Tabla 1. Propiedades del suelo evaluadas y método utilizado.
Table 1. Evaluated soil properties, and method used.

| Propiedad | Método | |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Textura | Hidrómetro | Warrick (2002) |
| Densidad real (Dr) | Picnómetro | Klute (1986) |
| Densidad aparente (Da) | Método de campo (excavación) | Blake (1965) |
| Porosidad total (Pt) | $Pt=(1-(Da/Dr))$ | Danielson y Sutherland (1986) |
| Estabilidad de agregados en seco | Tamizado en seco | Kemper y Rossenau (1986) |
| Capacidad de campo (CC) | Olla de presión | Gandoy (1991) |
| Punto de marchitez permanente (PMP) | Membrana de presión | Gandoy (1991) |
| Humedad aprovechable (HA) | Diferencia ($HA=CC-PMP$) | Ordaz (1999) |
| Infiltración | Doble cilindro | Bouwer (1986) |
| Materia orgánica | Combustión húmeda | Walkley y Black (1934) |

Tabla 2. Contenidos de arena, limo y arcilla, densidad real (Dr), densidad aparente (Da), porosidad (Pt), humedad aprovechable (HA) y materia orgánica (MO), por estrato de tiempo, en el sistema de maíz bajo temporal, en Luvisoles del estado de Campeche.

Table 2. Sand, silt and clay content, particle density, apparent density, porosity, available humidity and organic matter per time stratum in the rain-fed maize system in Luvisols in the state of Campeche.

| Estrato de tiempo (años) | Arena | Limo % | Arcilla | Dr —($Mg\ m^{-3}$)— | Da | Pt | HA (%) | MO |
|-----------------------------|-------|-----------|---------|--------------------------|------|------|-----------|--------|
| 1-5 | 6.2 | 18.9 | 74.9 | 2.54 c† | 0.96 | 64.4 | 8.5 | 4.8 b |
| 6-10 | 9.0 | 23.3 | 67.7 | 2.53 c | | | 8.3 | 4.7 b |
| 1-15 | 10.0 | 19.8 | 70.2 | 2.55 bc | | | 8.1 | 4.2 c |
| 16-20 | 6.2 | 20.0 | 73.9 | 2.57 ab | | | 7.4 | 3.4 d |
| 21-25 | 6.5 | 17.7 | 75.8 | 2.58 a | | | 6.5 | 3.6 cd |
| 26-30 | 7.4 | 17.9 | 74.8 | 2.59 a | 1.02 | 62.0 | 7.2 | 3.7 cd |
| VN¶ | 8.7 | 16.8 | 74.5 | 2.54 c | 0.94 | 63.8 | 9.1 | 5.7 a |
| Significancia | ns | ns | ns | ** | ns | ns | ns | ** |

¶VN=vegetación natural.

† medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tükey, 5 %).

ns=diferencia no significativa.

** significancia al nivel de probabilidad de 1 %.

ser menor en el SVN, donde alcanzó un valor medio de $2.51\ Mg\ m^{-3}$ (Tablas 2 y 3). En el SMT hubo una diferencia altamente significativa entre estratos y se observó que la Dr tendió a incrementarse con el tiempo de uso, ya que resultó menor en el estrato de 1 a 5 años y mayor en el estrato de 26 a 30 años, mientras que en el SMR, aunque también se observó una diferencia altamente significativa, la tendencia no resultó bien definida entre estratos de uso del suelo.

La densidad aparente (Da) no varió con el tiempo de uso en ambos sistemas de cultivo, ni en relación con el SVN; en el SMT presentó valores de 0.96 y $1.02\ Mg\ m^{-3}$ en los estratos de 1 a 5 y de 26 a 30 años, respectivamente (Tabla 2), mientras que en el SMR, a estos mismos estratos les correspondieron valores de 1.02 y $0.98\ Mg\ m^{-3}$ (Tabla 3). El

SVN presentó valores ligeramente menores que los estratos de tiempo en ambos casos.

En el SMT, la porosidad total (Pt) no varió con el tiempo de uso y mostró un comportamiento similar a la Da, con valores de 64.4 y $62.0\ %$ para los estratos tiempo de 1 a 5 y 26 a 20 años, respectivamente, y de $63.8\ %$ en el SVN (Tabla 2). Por su parte, en el SMR, los estratos de tiempo fueron semejantes entre sí, con valores de 61.2 y $62.4\ %$, respectivamente, pero hubo diferencia significativa entre estos y el SVN, cuyo valor fue de $65.2\ %$ (Tabla 3).

En el SMR se observaron diferencias significativas entre estratos en relación con la HA, hecho que no sucedió en el SMT; sin embargo, las diferencias fueron muy pequeñas y no siguieron una tendencia definida como para sacar conclusiones en relación

con el tiempo de uso del suelo (Tablas 2 y 3).

En el SMT, la MO disminuyó con el tiempo de uso del suelo, desde un valor de 4.8% en el estrato de 1 a 5 años, hasta un valores de 3.6 y 3.7% en los estratos de 21 a 25 y 26 a 30 años, respectivamente, mientras que en el SVN presentó un valor de 5.7%. Por su parte, en el SMR, la MO aumentó con el tiempo de uso, de 3.9% en el estrato de 1 a 5 años, hasta valores de 5.6% y 5.9% en los estratos de 21 a 25 y 26 a 30 años, respectivamente, en tanto que en el SVN presentó un valor de 5.4%.

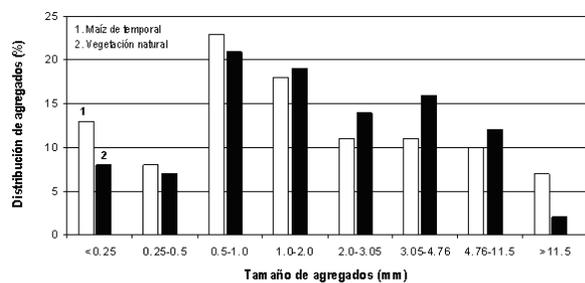


Figura 1. Distribución de los agregados del suelo en seco, en los sistemas de maíz bajo temporal y de vegetación natural, en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 1. Distribution of dry soil aggregates in the rain-fed maize and natural vegetation systems in Luvisols in the state of Campeche.

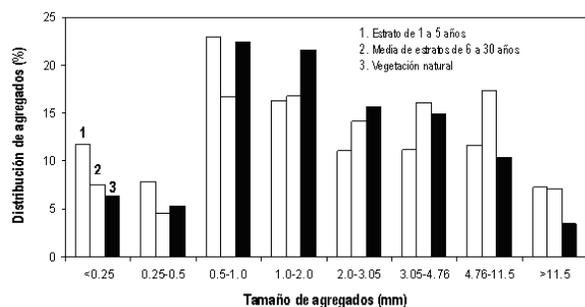


Figura 2. Distribución de los agregados del suelo en seco, en los sistemas de mango bajo riego y de vegetación natural, en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 2. Distribution of dry soil aggregates in the irrigated mango and natural vegetation systems in Luvisols in the state of Campeche.

Los agregados del suelo se consideraron en tamaños menores de 0.25 mm, 0.25-0.5 mm, 0.5-1.0 mm, 1.0-2.0 mm, 2.0-3.05 mm, 3.05-4.76 mm, 4.76-11.5 mm y mayores de 11.5 mm. En el SMT, aunque hubo diferencias significativas entre estratos con respecto al tiempo de uso del suelo, la tendencia no resultó clara ya que estas diferencias ocurrieron

de manera aleatoria. Debido a esto, la distribución de agregados para los seis estratos de tiempo se tomó en conjunto y que se comparó con la observada en el SVN (Figura 1). Por su parte, en el SMR, el resultado del análisis estadístico fue similar al del SMT, y en este caso, los estratos de 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20, 21 a 25 y 26 a 30 años fueron muy semejantes en la distribución del tamaño de los agregados, por lo que se consideraron como un conjunto homogéneo, el cual se comparó con el SVN y el estrato de 1 a 5 años, mismo que mostró mayor similitud con la distribución media de los seis estratos del SMT (Figura 2).

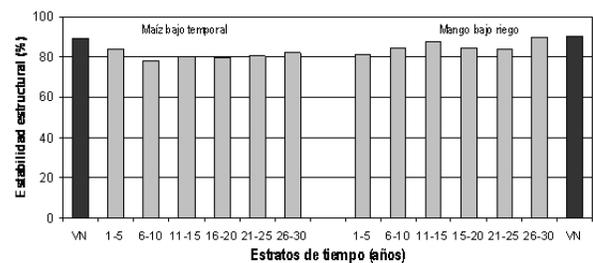


Figura 3. Contenidos de arena, limo y arcilla, densidad real (D_r), densidad aparente (D_a), porosidad (P_t), humedad aprovechable (H_A) y materia orgánica (M_O), por estrato de tiempo, en el sistema de mango bajo riego, en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 3. Dry soil aggregates stability in the natural vegetation system (NVS) and in the rain-fed maize and irrigated mango systems as a function of time in Luvisols in the state of Campeche.

En el SMT se observa que el desmonte y la labranza del suelo han hecho variar los porcentajes de agregados menores de 0.25, 0.25-0.5, 0.5-1.0 mm y mayores de 11.5 mm, incrementándolos en 38.4, 7.7, 8.7, y 71.4% en relación con el SVN, mientras que los agregados de 1.0-2.0, 2.0-3.05, 3.05-4.76 y 4.76-11.5 mm disminuyeron en 20.0, 31.2, 21.4, y 5.2%, en forma respectiva.

En el SMR, el estrato de 1 a 5 años obtuvo valores de 8 y 12% en los agregados menores de 0.25 y de 0.25-0.5 mm, respectivamente, representando 50 y 37.5% más que lo encontrado en el suelo del SVN para estas mismas categorías, así como un 50 y 41.7% más de lo que presentó el conjunto formado por los estratos de 6 a 30 años en este mismo sistema de cultivo (Figura 2), en el cual se presentaron valores de 17, 17, 14, 16 y 17% para las categorías de de 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-3.05, 3.05-4.76 y 4.76-11.5 mm, respectivamente; así mismo, también tuvo 57% más agregados mayores de 11.5

mm que el SVN, y valores muy similares a éste en los agregados menores de 0.25 y de 0.25-0.5 mm.

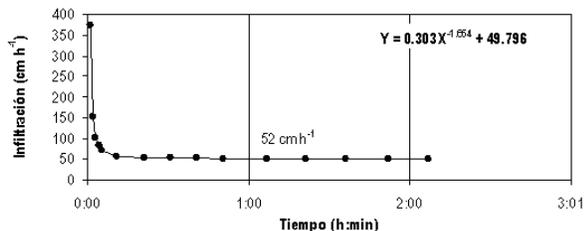


Figura 4. Velocidad de infiltración del suelo en el estrato de 1 a 5 años del sistema de maíz bajo temporal, en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 4. Soil infiltration speed in the 1 to 5 year stratum of the rain-fed maize system in Luvisols in the state of Campeche.

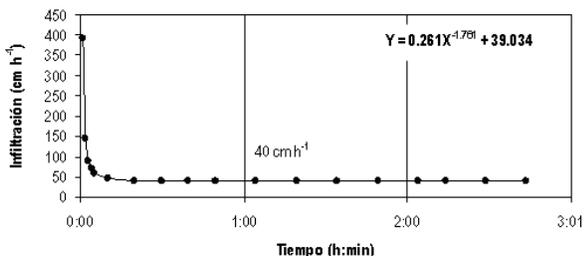


Figura 5. Velocidad de infiltración del suelo en el estrato de 26 a 30 años del sistema de maíz bajo temporal, en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 5. Soil infiltration speed in the 26 to 30 year stratum of the rain-fed maize system in Luvisols in the state of Campeche.

La estabilidad de los agregados (ES) presentó diferencias estadísticas entre estratos en ambos sistemas de cultivo, adquiriendo valores medios de 81 a 90 % (Figura 3); no obstante, éstas variaciones no siguieron un patrón definido en relación con el tiempo de uso del suelo. El valor más alto de ES encontrado en el SMT coincidió con el del SVN, mientras que en el SMR, los valores más altos fueron para el estrato de 26 a 30 años y el SVN.

En ambos sistemas de cultivo, la velocidad de infiltración (VI) tendió a estabilizarse antes de los 60 min de haber iniciado la prueba, por lo que para fines de comparación se tomó como referencia el valor observado en este tiempo. Como puede observarse, los estratos de 1 a 5 y de 26 a 30 años, en el SMT, presentaron valores de 52 y 40 cm h^{-1} , respectivamente (Figuras 4 y 5); mientras que en el SMR, éstos tomaron valores de 45 y 65 cm h^{-1} (Figuras 6 y 7). Por su parte, el SVN mostró una velocidad de infiltración de 235 cm h^{-1} , muy superior

a la de ambos sistemas de cultivo (Figura 8).

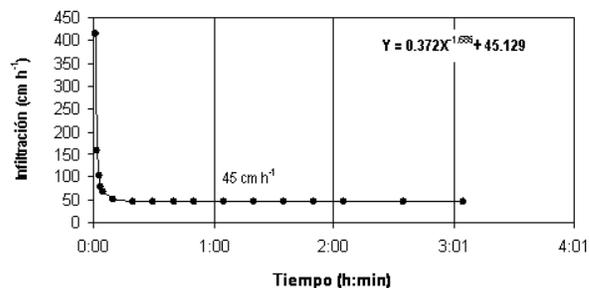


Figura 6. Velocidad de infiltración del suelo en el estrato de 1 a 5 años del sistema de mango bajo riego, en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 6. Soil infiltration speed in the 1 to 5 year stratum of the irrigated mango system in Luvisols in the state of Campeche.

DISCUSIÓN

Se presentó una ligera variación en la D_r , la cual tendió a incrementarse con el tiempo de uso en el SMT, caso que es difícil de explicar pues difiere de lo señalado la literatura en el sentido de que ésta es una propiedad del suelo muy estable. Por su parte en el SMR no se observó alguna tendencia definida, ya que el SVN y el estrato de 26 a 30 años fueron similares, presentando los valores más bajos. Los valores medios más altos encontrados para la D_r estuvieron por debajo del intervalo de 2.60 a 2.75 Mg m^{-3} señalado por Brady & Weil (1999), hecho que coincide en cierta forma con valores encontrados de 2.4 Mg m^{-3} para esta propiedad en Regosoles y Fluvisoles (Sutaíta-Rivera *et al.* 2000).

La D_a no mostró diferencias significativas entre los estratos de 1 a 5 y 26 a 30 años, tanto en el SMT como en el SMR, como tampoco en relación con el SVN, de tal manera que podría decirse que el tiempo de uso no modificó esta propiedad. La porosidad mostró cierta tendencia a ser mayor en el SVN, pero esto sólo alcanzó a ser significativo en el caso del SMR. La baja densidad aparente que se obtuvo en ambos sistemas de cultivo (0.89 a 1.02 Mg m^{-3}) se asoció con una alta porosidad (62 a 65 %), lo que parece indicar que estos suelos poseen buena capacidad de agregación (Brady & Weil, 1999), influenciada por un alto contenido de MO, y quizás también por su contenido de óxidos férricos (Acevedo-Sandoval *et al.* 2004, Six *et al.* 2004), y presentan excelentes condiciones para el crecimien-

to de los cultivos de acuerdo a sus valores de Da y porosidad.

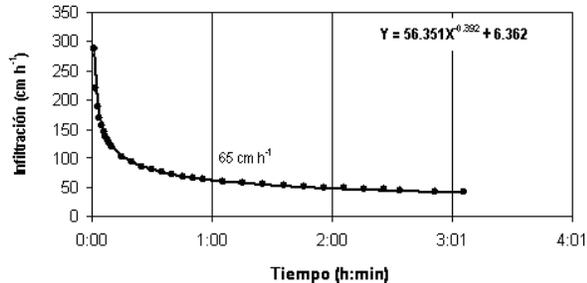


Figura 7. Velocidad de infiltración del suelo en el estrato de 26 a 30 años del sistema de mango bajo riego, en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 7. Soil infiltration speed in the 26 to 30 year stratum of the irrigated mango system in Luvisols in the state of Campeche.

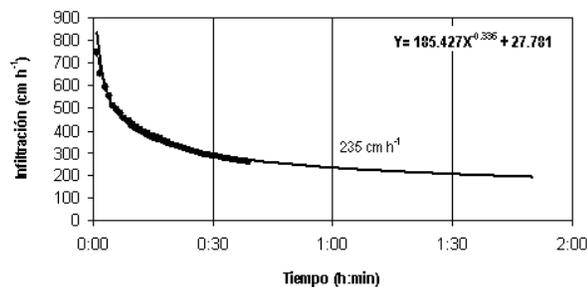


Figura 8. Velocidad de infiltración del suelo en el sistema de vegetación natural (VN), en Luvisoles del estado de Campeche.

Figure 8. Soil infiltration speed in the natural vegetation system (NVS) in Luvisols in the state of Campeche.

Los valores de la HA se distribuyeron en un intervalo de 6.9 a 9.1 %, incluyendo entre éste a los suelos del SVN. Estos valores de HA se consideran bajos de acuerdo con Palacios-Vélez (2002), y coinciden con los de suelos de textura franca, salvo que en este caso los valores de CC y PMP son altos (CC fue de 31.6 a 32.8 % en el SMT, de 30.6 a 33.3 % en el SMR y de 33.2 a 34.6 % en el SVN; PMP fue de 24.3 a 25.5 % en el SMT, de 22.0 a 25.6 % en el SMR y de 25.5 a 26.3 % en el SVN), característica que quizás les confieren sus contenidos de óxido férrico, de MO y de arcilla.

La disminución de la MO en el SMT es consecuencia de una mayor exposición de ésta a la actividad de los microorganismos del suelo por el laboreo continuo del suelo, lo cual implicaría no sólo una pérdida en la estabilidad de la estructura del suelo, sino también un descenso en su contenido de nutrime-

tos (Gibbs & Reid 1988; Leiva 1998; Sa et al. 2001); en tanto que el incremento de la MO que ocurrió en el SMR, este sería explicado por una aportación a partir del follaje de las plantas y el descenso en la tasa de descomposición de la misma, dado que al avanzar la edad de las plantaciones la labranza disminuye de manera general, lo que implicaría el retorno al suelo de una parte de los nutrientes extraídos por la planta y el fortalecimiento de estabilidad estructural de éste, con lo cual tendería a regresar a su estado original (Volke-Haller et al. 1993).

En el SMT, el incremento de agregados de menor tamaño, es considerado un efecto negativo en la estructura del suelo, suficientemente documentado en la literatura (Alegre et al. 1985; Gibbs & Reid 1988; Piccolo et al. 1997; Rienk 1997; Castro et al. 2001). Por otra parte, el incremento de los agregados mayores a 11.5 mm en este sistema podría ser un efecto de agregación debido a la compresión de las herramientas agrícolas, que forma agregados con elevada resistencia mecánica en estado seco, respecto al estado original del suelo, pero que podría disminuir en estado húmedo (Cabrera & Oleschko 1993; Cerdá 2000). Contrario a lo que sucede en el SMT, pareciera ser que en el SMR hay una tendencia favorable para la recuperación de la estructura del suelo a través de los años, lo que pudiera deberse a que el laboreo del suelo disminuyó, y hay además un aporte de materia orgánica, que actúa favorablemente en el proceso de agregación, dando lugar a partículas de mayor tamaño y la formación de un suelo más estable (Wilding & Oleschko 1994; Cerdá 2000; Six et al. 2004).

A pesar de las diferencias encontradas en ES con respecto a los estratos en ambos sistemas de cultivo, esto no prueba la existencia de un deterioro del suelo a nivel de agregados pues el suelo es calificado como de excelente estructura ($ES > 80\%$), y pareciera que en el caso del SMT, aún no se manifiesta un efecto negativo debido a la labranza en el intervalo de tiempo estudiado (Sustaíta-Rivera et al. 2000).

En el SMT hubo una disminución de 23.1 % en la VI por efecto del tiempo de uso, lo cual es un signo de deterioro de la estructura del suelo (Rienk 1997). Por otra parte, en el SMR hubo un incremento de 44 % en la VI, el cual puede ser atribuible a la

Tabla 3. Contenidos de arena, limo y arcilla, densidad real (Dr), densidad aparente (Da), porosidad (Pt), humedad aprovechable (HA) y materia orgánica (MO), por estrato de tiempo, en el sistema de mango bajo riego, en Luvisoles del estado de Campeche.

Table 3. Sand, silt and clay content, particle density, apparent density, porosity, available humidity and organic matter per time stratum in the irrigated mango system in Luvisols in the state of Campeche.

| Estrato de tiempo (años) | Arena % | Limo % | Arcilla % | Dr —(Mg m ⁻³)— | Da | Pt | HA (%) | MO |
|-----------------------------|------------|-----------|--------------|-------------------------------|------|---------|-----------|--------|
| 1-5 | 12.8 | 16.5 b† | 70.8 | 2.52 c | 1.02 | 61.2 b | 7.1 c | 3.4 d |
| 6-10 | 15.1 | 18.4 ab | 66.5 | 2.58 a | | | 6.9 c | 4.6 c |
| 11-15 | 15.0 | 21.0 ab | 63.9 | 2.56 b | | | 9.5 a | 4.9 bc |
| 16-20 | 15.4 | 20.6 ab | 63.9 | 2.59 a | | | 8.3 b | 5.8 a |
| 21-25 | 11.2 | 23.4 a | 65.4 | 2.57 ab | | | 9.0 ab | 5.6 ab |
| 26-30 | 9.3 | 25.2 a | 65.4 | 2.55 b | 0.98 | 62.4 ab | 8.4 b | 5.9 a |
| VN¶ | 13.8 | 22.2 ab | 64.2 | 2.49 d | 0.89 | 65.2 a | 7.2 c | 5.4 ab |
| Significancia | ns | ** | ns | ** | ns | * | ** | ** |

¶VN=vegetación natural.

† medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tükey, 5 %)

ns=diferencia no significativa.

** significancia al nivel de probabilidad de 1 %.

adición de MO y la suspensión del laboreo del suelo, que inciden positivamente sobre la agregación, como parece observarse en el hecho de que el estrato de 26 a 30 años sobresalió en porcentaje de agregados de 2.0 a 11.5 mm, por sobre el estrato de 1 a 5 años, y adquirió un valor de ES similar al del SVN. No obstante, a pesar de esta aparente recuperación de la infiltración en los huertos de mango de mayor edad, aún hay una gran diferencia entre la infiltración de éstos y la del SVN, hecho que no puede ser atribuible un cambio en la Pt, dado que las diferencias en esta propiedad no fueron muy evidentes. Por este motivo, pareciera que para esclarecer el motivo de las diferencias observadas en la VI, tanto dentro, como entre los sistemas, futuras investigaciones deberían estudiar otras variables, tales como la distribución del tamaño de poros, y su continuidad, ya que el desmonte y la labranza a través de los años, suelen modificar en mayor grado estas propiedades; específicamente los poros que dejan en su momento la raíces muertas de la vegetación nativa, aunados a los poros originados por la mesofauna del suelo, tales como las lombrices y escarabajos, que para el caso de la alta infiltración observada en los suelos del SVN, parecen ser de mayor influencia que los macroporos mencionados por Gibbs & Reid (1988) y Rienk (1997).

Hubo cierto grado de semejanza del estrato de 1 a 5 años del SMR con los estratos de 1 a 5 y

26 a 30 años del SMT, tanto en el valor de la VI como en el hecho de que en ambos ésta se estabilizó antes de los 60 min de iniciada la prueba; esto se explica por el hecho de que el suelo que ahora ocupan los huertos de 1 a 5 años de edad estuvo sometido a labranza mecánica por espacio de 20 a 25 años, en los que fue sembrado con diversos cultivos anuales, principalmente maíz bajo temporal.

Se concluye que los sistemas de producción SMT y SMR han originado cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo de uso en los Luvisoles del estado de Campeche. En el SMT, se presentan signos de deterioro del suelo por el incremento de agregados menores a 1.0 mm, contrario a lo que sucede en el SMR, donde mejoró el estado de agregación en general. Este señalamiento se ve reforzado por otros resultados, tales como la disminución de la MO y la VI en el SMT, y un incremento de la MO y la VI en el SMR. Por otro lado, de acuerdo a los valores observados en el índice ES, el suelo en ambos sistemas de cultivo aún no presenta cambios importantes en su estructura, y puede ser calificado como excelente para el desarrollo de cultivos. No se detectaron cambios en la Da y la Pt del suelo en relación con el tiempo de uso, aunque si podría ocurrir en un período más largo de tiempo. La Dr presentó escasos cambios en ambos sistemas y se mantuvo relativamente constante.

LITERATURA CITADA

- Acevedo-Sandoval O, Ortiz-Hernández E, Cruz-Sanchez M, Cruz Chavez E (2004) El papel de los óxidos de hierro en los suelos. *TERRA Latinoamericana*. 22: 585-497.
- Aguilar CG, Méndez GV (1993) Producción de maíz de temporal en los suelos mecanizables de la Península de Yucatán. Folleto Técnico No. 6. INIFAP, SARH. Yucatán, México. 22 pp.
- Aguilar SA, Etchevers BJD, Castellanos RJ (1987) Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial No. 1. SMCS. México. 217 pp.
- Aguilera CM, Martínez ER (1996) Relaciones agua suelo planta atmósfera. 4a. ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex., México. 251 pp.
- Alegre JC, Cassel DK, Makarim MK (1985) Strategies for reclamation of degraded lands. En: *Tropical land clearing for sustainable agriculture. Proceedings of an IBSRAM Inaugural Workshop*. Jakarta, Indonesia. Pp 77-109.
- Anónimo (1988) Perfil estatal del programa de acción forestal tropical 1988. Comisión Nacional Forestal. Gobierno del Estado de Campeche. SARH-SEDUE-CNA. Campeche. México. 260 pp.
- Anónimo (1999) Síntesis del inventario de suelos del estado de Yucatán. Comisión Nacional del Agua. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos naturales y Pesca. México.
- Anónimo (2002) Información estadística y geográfica de la República Mexicana. Campeche. INEGI. <http://www.inegi.gob.mx>.
- Anónimo (2002) Campeche-Calakmul. Disponible en: Enciclopedia de los municipios de México. <http://www.e-local.gob.mx/enciclo/campeche/Opios/04010a.htm>. 3 pp.
- Anónimo (2004) Campeche. Anuario estadístico 2004. INEGI. México.
- Anónimo (2005) Programa nacional de levantamiento y verificación de productores, predios y lotes con cultivo de mango en el estado de Campeche 2005. Información de campo. Consejo Estatal del Mango en combinación con ASERCA, Campeche, Camp. Méx.
- Blake GR (1965) Bulk fensity. En: Black CA (1965) (ed). *Methods of soil analysis Part 1*. Agronomy 9. A.S.A., Inc. Pub. Mad. W. USA. 377-378 Pp.
- Botta G, Jorajuría D, Rosatto H, Ferrero C (2003) Perfil de la compactación producida por el tráfico en un suelo bajo siembra directa. *Agro-Ciencia*. 19: 107-113.
- Bouwer H (1986) Intake rate. Cylinder infiltrometer. En: Klute A, (ed) *Methods of soil analysis Part I. Physical and mineralogical methods*. Agronomy No. 9. 2nd ed. 770 pp.
- Brady NC, Weil RW (1999) *The nature and properties of soils*. 12a. ed. Prentice Hall. N.J. USA. 750 pp.
- Cabrera CF, Oleschko K (1993) Efecto de la labranza en suelos con propiedades físicas contrastantes. *Agricultura Técnica en México*. 19: 36-46.
- Castro FC, Lourenco A, Guimaraes MF, Fonseca ICB (2001). Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil & Tillage Research* 65: 45-51.
- Cerdá A (2000). Agrégate stability against wate forces under different climates on agricultura land and scrubland in southern Bolivia. *Soil & Tillage Research* 57: 159-166.
- Cuanalo CEE, Ojeda TE, Santos OA, Ortiz SCA (1989) Provincias, regiones y subregiones terrestres de México. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 623 pp.
- Danielson RE, Sutherland PL (1986) Porosity. En: Klute A (ed). *Methods of soil anlysis Part I. Physical and mineralogical methods*. Agronomy No. 9. 2nd ed. 770 pp.
- Duch GJ (1995) Los Suelos, la agricultura y la vegetación en Yucatán. En: *La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional*, Tomo 1. Colegio de Postgraduados. México. 307 pp.
- FAO-UNESCO (1970). *Soil map of the world 1970 legend*. 1:5000 000 Vol I. Paris.
- FAO (1986). *Soil survey investigations for irrigation*. *Soils Bulletin* No. 42. 188 pp.
- Fuentes JL (2002) *Curso de riego para regantes*. 2a. ed. Ed. Mundi-prensa. México. S.A. de C.V. 159 pp.
- Gandoy BW (1991) *Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 173 pp.

- Gandoy Bernasconi W, Campos-Cascaredo A (1992) Evolución de la propiedades de un fragiusdalf en 18 años de labranza, en el poblado de Limones, Cosautlán, Ver. En: Tovar-Salinas JL, y Quintero-Lisaola R (eds.) La investigación edafológica en México 1991-1992. SMCS. Acapulco, Gro. México.
- Gibbs RJ, Reid JB (1988) A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*. 8: 123-149.
- Grossman RB, Prigle FB (1985) Describing surface soil properties-their seasonal changes and implications for management. *Soil Survey Techniques*. SSSA Special Publication No. 20. Ed. WV. Reybold and G.W. Peterson. Mad. W. USA.
- Gutiérrez-Castorena MC, Reyes-Chavez J, Figueroa-Sandoval B (1999) Desarrollo estructural de un Entisol bajo labranza de conservación y tradicional. *Terra*. 17: 87-96.
- Hanks RJ, Ashcroft GL (1980) Applied soil physics. Soil water and temperature applications. *Advances Series in Agricultural Sciences* No. 8. 159 pp.
- Hillel D (1971) Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press. New York. USA. 282 pp.
- Holzapel EA, Jara J, Zúñiga C, Mariño MA, Paredes J, Billib M (2004) Filtration parameters for furrow irrigation. *Agricultural Water Management* 68: 19-32.
- Kemper WD, Rossenau RC (1986) Aggregate stability and size distribución. En: Klute A, (ed). *Methods of soil analysis Part I. Physical and mineralogical methods*. Agronomy No. 9. 2nd ed. 770 pp.
- Klute A (1986) *Methods of soil analysis Part I. Physical and mineralogical methods*. Agronomy No. 9. 2nd ed. 770 p.
- Ku NR, Tucuch CM, Estrada VJD, Palacios PA, Rodríguez AJH, Díaz PJ, Sánchez BJA, Ramírez JG (2005) Determinación del potencial productivo para el cultivo de maíz en el estado de Campeche. Folleto Técnico s/n. C.E. Edzná. CIR-Sureste. INIFAP. SAGARPA. 18 pp.
- Lal RJ, Greeland DJ (1979) Soil physical properties and crop production in the tropics. John Wiley & Sons Ltd. 545 pp.
- Lal RJ (2000) Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. *Soil Science*. 165: 192-207.
- Leiva FR (1998) Sostenibilidad de sistemas agrícolas. *Agronomía Colombiana*. Vol. XV No. 2: 181-193.
- León-Arteta R (2003) Manual edafológico de campo. 2a. Ed. Textos Universitarios, Universidad Veracruzana. México. 205 pp.
- León-González F, Payan-Zelaya F, Sánchez SR (1998) Localización de capas compactadas en el perfil del suelo mediante penetrometría. *Terra*. 16: 303-307.
- Loveday J (1974) *Methods for analysis of irrigated soils*. Technical Communication No. 54. Commonwealth Bureau of Soils. 205 pp.
- Mariaca-Méndez R (1992). La fertilidad del suelo en la milpa bajo roza-tumba-quema en Yucatán. En: Zizumbo-Villareal D, Rasmussen-H C, Arias-Reyes LM, Terán-Contreras S, (eds). *La modernización de la milpa en Yucatán: Utopía o realidad*. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán. Mérida, Yuc. México.
- Mariaca-Méndez R, Hernández-Xolocotzi E, Castillo MA, Moguel OE (1995) Análisis estadístico de una milpa experimental de ocho años de cultivo continuo bajo roza-tumba-quema en Yucatán, México. En: *La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional*. Tomo 2. Colegio de Postgraduados. 307-631 pp.
- Medina-Méndez J (1997) Proyecto Kilo x Kilo. Informe del proyecto, ciclo primavera-verano 1997-97. Inifap. Campo Experimental Edzná. CIR-Sureste. INIFAP. Campeche, Camp. México. 22 pp.
- Molina NC, Cáceres MR (1992) Análisis de la composición catiónica producida por el desmonte y posterior cultivo de suelos loésicos de la provincia de Tucumán Argentina. En: Tovar Salinas J L, Quintero-Lisaola R (eds.) *La investigación edafológica en México 1991-1992*. SMCS. Acapulco, Gro. México.
- Navar J, Sinnott TJ (2000) Soil infiltration and land use in Linares, N. L. México. *Terra* 18: 255-262.

- Ordaz-Chaparro VM (1999) El agua en el suelo y su evaluación. Publicación especial No. 8. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Colegio de Postgraduados. México.
- Ortiz-Villanueva B (1975). Edafología. E.N.A. (U.A.CH.). Chapingo, México. 291 pp.
- Palacios-Pérez A, Ramírez-Jaramillo G (1996) Los suelos de Campeche. Características y su importancia agropecuaria. En: Memorias del primer simposium estatal sobre investigación científica y desarrollo tecnológico. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, Camp. México. Pp 50-62.
- Palacios-Vélez E (2002) ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? Para lograr mejores cosechas. 1a. ed. TRILLAS S.A. de C.V. México. 214 pp.
- Piccolo GA, Rosell RA (1997) Estabilidad de los agregados de un suelo rojo laterítico virgen y cultivado (Misiones, Argentina). Informe Técnico No. 65. Estación experimental agropecuaria Cerro Azul. INTA. Argentina. 16 pp.
- Pool-Novelo L (1980) Estudio de los suelos calcimórficos con relación a la producción maicera. Seminario sobre la producción agrícola en Yucatán. Gobierno del estado de Yucatán. Secretaría de Programación y Presupuesto. Secretaría de Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 32 pp.
- Pool-Novelo L, Hernández-Xolocotzi E (1995) Los contenidos de materia orgánica de los suelos en áreas bajo el sistema agrícola de roza-tumba-quema: Importancia del Muestreo. En: La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional. Tomo 1. Colegio de Postgraduados. 287 pp.
- Rienk M R (1997) Applications of micromorphology of relevance to agronomy. *Advances in Agronomy*, 19: 119-159.
- Rodríguez-Fuentes H, Rodríguez-Absi J (2002) Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. 1a. ed. Ed. Trillas. 187 pp.
- Ruiz-Figueroa F (1995) Estrategias en la planeación del manejo de los recursos del suelo para una agricultura sostenible. En: Manejo de suelos arcillosos para una agricultura sustentable. Diversidad Autónoma Chapingo. Pp 25-33.
- Sa ME, Costa DSA, Lemos MM, Ferreira FMP (2001) Carbono orgánico extraído por soluciones salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. *Agrociencia* 35: 397-406.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Cisneros-Domínguez J (1999) Manual de procedimientos para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales. Gobierno del estado de Tabasco. Campus Tabasco. Colegio de Postgraduados. 71 pp.
- Santos-Ocampo A (1984) Inventario de las áreas erosionadas en el estado de Campeche. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 147 pp.
- Scott HD (2000) Soil physics. Agricultural, and environmental applications. 1st edit. Iowa State University Press. USA. 421 pp.
- Six J, Bossuyt H, Degryse S, Denef K (2004) A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research* 79: 7-31.
- Sustaita-Rivera F, Ordaz-Chaparro V, Ortiz-Solorio C, León-González F (2000) Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia* 34: 379-386.
- Tucuch-Cahuich FM, Palacios-Pérez A, Ku-Naal R, Guzmán EC. (2005) Manejo del cultivo de mango en el estado de Campeche. Campo Experimental Edzná, Centro de Investigación Regional de Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. México.
- Turrent-Fernández A, Camas-Gómez R, López-Luna A, Cantú-Almaguer M, Ramírez-Silva J, Medina-Méndez J, Palafox-Caballero A (2004) Producción de maíz bajo riego en el Sur-Sureste de México. I. Análisis agronómico. *Agricultura Técnica en México*. 30: 153-167.
- Valencia ICE, Hernández BA (2002) Muestreo de suelos preparación de muestras y guía de campo. 1a. ed. Universidad Autónoma de México. 111 p.
- Villafuerte D, García M del C (2002) Ganadería y reforestación en el trópico mexicano. Explorando el ecoturismo. *Ecología de las selvas tropicales*. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/97/1097selva6.html>.

- Volke-Haller V, Fausto-Reyes J, Merino-Bazan C (1993) La materia orgánica del suelo como función de factores físicos y el uso y manejo del suelo. *Terra* 11: 85-91.
- Walkley A, Blake IA (1934) An examination of the Dejtjarett method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Warrick AW (2002) *Soil physics companion*. CRC PRESS. Washington D.C., USA. 389 p.
- Wild A (1992) *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Ediciones Mundiprensa. Madrid España. 1045 pp.
- Wilding LP, Oleschko K (1994) Micromorphological indicators of antropogenic effects on soils. 15 th World Congress of soil science. 6: 205-223.
- Wright AGS (1967) *El reconocimiento de los suelos de la Península de Yucatán*. Informe del Proyecto Especial "Plan Chapingo". Traducido al español por H. Quiñones. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 52 pp.

