

PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN LUVISOL DESPUÉS DE LA CONVERSIÓN DEL BOSQUE A LA AGRICULTURA EN CAMPECHE, MÉXICO¹

*Juan Medina-Méndez², Victor Hugo Volke-Haller³, Arturo Galvis-Spínola³, Jesús Margarito González-Ríos³,
María de Jesús Santiago-Cruz³, José Isabel Cortés-Flores³*

RESUMEN

Propiedades químicas de un Luvisol después de la conversión del bosque a la agricultura en Campeche, México. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en las propiedades químicas de un suelo Luvisol en Campeche, México en un período de 30 años (1974 al 2003). Los principales cultivos en el área de estudio fueron el maíz bajo temporal y mango bajo riego. Con fines de comparación también se consideró como punto de referencia al suelo con vegetación natural de selva. En el maíz, se observaron disminuciones con el tiempo en el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y calcio intercambiable; ocurrió todo lo contrario en el mango. En el maíz, el fósforo, potasio, sodio, hierro y cobre presentaron una tendencia a disminuir, pero posteriormente se incrementaron a un valor superior al que presentó el suelo de vegetación natural; mientras que en el mango, este comportamiento solo se observó en el cobre, hierro y zinc. Los cationes intercambiables, calcio, potasio, magnesio y sodio, al igual que el manganeso, presentaron valores inferiores en los huertos de mango 30 años de edad, comparados con el suelo de vegetación natural. En el maíz, el fósforo, magnesio, potasio, hierro, manganeso, cobre y zinc, presentaron un valor superior al del suelo con vegetación natural, en el estrato de uno a cinco años, relacionado con el desmonte del terreno, la “quema” de la vegetación y la labranza; pero a excepción del zinc, el valor alcanzado por éstos disminuyó a partir de los siguientes cinco años.

Palabras clave: Tiempo, uso del suelo, fertilidad, maíz, mango.

ABSTRACT

Chemical properties of a Luvisol after conversion from forest to agriculture in Campeche, México. The objective of this work was to evaluate the changes in the chemical properties of a Luvisol soil in Campeche, Mexico, over a 30-year chronosequence. The period of study was from 2003 to 2006. The main crops were rainfed maize and irrigated mango. For comparison purposes, forest soils under natural vegetation were also evaluated. In maize crops, decreases of pH, electric conductivity, organic matter, and exchangeable calcium were observed through time, whereas the effect of was the opposite in mango orchards. In maize, phosphorus, potassium, sodium, iron, and copper showed a tendency to decrease, although later they increased to values above those observed in the soil with natural vegetation. In the case of mango, this behavior was only observed with copper, iron, and zinc. Exchangeable cations, calcium, potassium, magnesium, sodium, and manganese had lower values in soils where mango had been growing for 30 years compared with soils under natural vegetation. Soils planted with maize showed greater contents of phosphorus, magnesium, potassium, iron, manganese, copper, and zinc than soils with natural vegetation from one to five years, apparently related to land clearing, burning of vegetation, and tilling; with the exception of zinc, soil content of all minerals decreased after five years.

Key words: Time, land use, fertility, maize, mango.



¹ Recibido: 24 de marzo, 2008. Aceptado: 16 de noviembre, 2009.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Edzná, México. jmedina@colpos.mx

³ Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Estado de México. vvolke@colpos.mx, agalvis@colpos.mx, jgerios@colpos.mx, ecomjs@colpos.mx, jicortes@colpos.mx

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo puede considerarse como una modificación de sus propiedades, la cual conduce a su deterioro; este último podría definirse como un estado en que la capacidad del suelo para producir en forma cualitativa y cuantitativa bienes y servicios ha disminuido. Las consecuencias de la degradación y posterior deterioro del suelo son la disminución de la capacidad para soportar vida animal y vegetal, y su efecto más visible es la disminución en la producción de biomasa vegetal y la dificultad para desintegrar e incorporar la materia orgánica al suelo (Stocking y Murnaghan 2003, Dorronsoro 2006, FAO 2006).

A nivel mundial, el deterioro debido al mal uso de la tierra, ha ocasionado que por cada kilogramo de alimento producido, se pierdan aproximadamente 18 kg de suelo (Etchevers 1999). De acuerdo con Volke (2000), cerca del 81 al 86 % de la superficie agrícola de México se encuentra dañada, y el 30 % tiene un nivel muy severo; y entre los agentes más importantes del deterioro del suelo en México se encuentran: la erosión, salinidad, acidificación y contaminación con hidrocarburos y agroquímicos.

Los efectos negativos de las actividades agrícolas pueden afectar a los agricultores *in situ* mediante la degradación de la estructura del suelo, pérdida del fertilizante aplicado, disminución en la actividad biológica del suelo, y también puede ocasionar daños *ex situ*, como la contaminación de los cuerpos de agua con nitratos y fosfatos y la contaminación del aire con CO₂, lo que influye en el calentamiento global del planeta (Leiva 1998). Por su parte, Claverán *et al.* (2001), señala que en México, en el último medio siglo el deterioro del suelo se ha agravado debido a la contribución de actividades como la deforestación, el sobre-pastoreo y agricultura mecanizada o convencional; y la agricultura tradicional, conocida como roza-tumba-quema.

Algunos autores como Álvarez *et al.* (1998) y Sá *et al.* (2001), señalan que la materia orgánica del suelo está asociada con la fertilidad y productividad de los agroecosistemas, y agregan que existe una fracción de ella mayormente afectada por la labranza, y que está relacionada con la biomasa microbiana y la respiración del suelo; esta fracción es denominada nueva o activa, que difiere de la fracción vieja, estable o inactiva en su disponibilidad de uso por las plantas (Doran y Smith

1987). Abundando en lo anterior, Galvis (2000) señala que la agricultura convencional, basada en la labranza como labor cultural principal, lleva a largo plazo a una reducción de la fertilidad del suelo, pues al agotarse la materia orgánica disminuyen los nutrientes, la estructura pierde estabilidad, se afectan las relaciones hídricas internas, y el suelo se vuelve incapaz de amortiguar los cambios ocasionados por la adición de agroquímicos.

Por lo general, la literatura consigna que el uso del suelo a través del tiempo origina diversos cambios; Lal (2000) señala que esto es debido en gran parte a la labranza del suelo, y que es necesario implementar sistemas de manejo de bajo impacto. Papadakis (1984), a partir de registros de más de 90 años, señaló que la fertilidad del suelo disminuye conjuntamente con los rendimientos, alcanzando un aparente equilibrio en 25 años, donde éste también se estabiliza. Por su parte Doran y Smith (1987) y Wolf (1999) señalan que en suelos donde la vegetación natural de bosque y pradera fue eliminada para producir granos, la fertilidad disminuyó, afectando la producción cuando la materia orgánica descendió en un 40 a 60 % de su contenido original.

La evaluación de los cambios en las propiedades del suelo puede hacerse observando la evolución de ellas en el tiempo, y teniendo también como referencia al ecosistema natural (Molina y Cáceres 1992, Wilding y Oleschko 1994, Ruiz 1995, Navar y Sinnott 2000, Sustaita *et al.* 2000). Dicha evaluación podría basarse en propiedades químicas como el pH, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio aprovechables (Zueng-Sang 1999). Tijerina (2001) señaló que el análisis del cambio en las propiedades químicas del suelo podría basarse en el contenido de materia orgánica, pH, disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio. Por su parte, Anderson e Ingram (1996), señalan que entre las propiedades utilizadas para describir un sitio de una región tropical se pueden incluir el pH, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo total, aluminio intercambiable (si pH < 6), K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, CIC (si pH ≥ 6), fósforo orgánico y elementos menores.

En cuanto al tiempo de respuesta para los cambios en algunas propiedades del suelo, éste puede ser de menos de un año para el estado nutricional en general, menos de dos años para el nitrógeno total, el fósforo disponible y la conductividad eléctrica; más de cinco años para pH, de uno a diez años para la capacidad

de intercambio catiónico, y de 10 a 100 años para la materia orgánica (Sustaita *et al.* 2000, Astier *et al.* 2000). A este respecto, Palma *et al.* (2005) señalaron que los intervalos de tiempo para monitorear algunas propiedades del suelo son: para el pH, cada ciclo de cultivo; y nutrientes disponibles y carbono orgánico, de uno a dos años.

En el sureste de México, la vegetación natural de selva tropical mediana y alta, subperennifolia, que se extendía en gran parte de la Península de Yucatán (Cuanalo *et al.* 1989); ha sido sustituida por sistemas de producción agrícolas y pecuarios, dando lugar a una gran devastación de este ecosistema (Villafuerte y García 2002); pese a esto, documentos como el Plan Puebla-Panamá (PPP 2002), señalan que Campeche, Quintana Roo y Yucatán, aún presentan alta diversidad ecológica en flora y fauna, y alta calidad en agua y suelo, imperando en más del 30 % de su superficie; sin embargo, por ser ésta una región tropical, dichos recursos presentan gran fragilidad, debiendo ser aprovechados con una planeación cuidadosa, pues de lo contrario podría sobrevenir una pérdida acelerada de la fertilidad del suelo, como señalan Sivakumar *et al.* (1992) y Doran y Smith (1987), induciendo a un grave desequilibrio ecológico que haría muy difícil aspirar a un desarrollo sostenible.

La colonización del sureste de México, en los años setenta, con campesinos de otras entidades de la República, aceleró el desmonte de la vegetación primaria y también la mecanización del suelo. En la Península de Yucatán, la investigación en el "sistema milpa", en los años ochenta, permitió identificar factores causantes del deterioro de los recursos naturales, y presentó alternativas para hacer redituable la inversión de recursos en la producción (Pool 1980, Mariaca 1992, Hernández *et al.* 1995). A partir de dicha investigación, se llegó a concluir que las propiedades del suelo en los Luvisoles evolucionaban negativamente por efecto de su uso continuo con el monocultivo de maíz, ya que al cambiar de roza-tumba-quema a cultivo continuo, se observó que en cinco años de uso, la productividad disminuyó, y ello se relacionó con un descenso en el contenido de materia orgánica del suelo debida a la "quema" de la vegetación, lo que liberó nutrimentos, mismos que en un ciclo de cultivo descendieron a la mitad de su contenido.

Como una manera de contribuir al conocimiento de la evolución en algunas propiedades químicas de los Luvisoles del Estado de Campeche, esta investigación tuvo como objetivo determinar los cambios ocurridos en ellas a través del tiempo, en suelos con cultivo de maíz y mango. El estudio comprendió un intervalo de tiempo de 30 años de uso y manejo continuo del suelo con ambos sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelo y clima del área de estudio

Esta investigación se desarrolló en la región norte del estado de Campeche, sobre los suelos rojos-arcillosos-profundos, denominados Luvisoles en la clasificación de la FAO-UNESCO 1970 y llamados *Kancab* o *K'aancab* en la clasificación de suelos elaborada por los antiguos Mayas (Wright 1967, Santos 1984, Duch 1995, Pool y Hernández 1995, Palacios y Ramírez 1996, Ku *et al.* 2005, Duch 2005). Recientemente, algunos investigadores han identificado en estos suelos, rasgos que coinciden con los de los Lixisoles de la clasificación FAO-UNESCO (1988) y los Alfisoles de la Taxonomía de suelos versión 1999 (SEMARNAP-Yucatán 1999, Palma *et al.* 2005).

El clima predominante en la región es el AW₁ en el cual la precipitación anual va de 900 a 1.200 mm, cantidad que se distribuye alrededor de 85 % entre mayo y octubre y el resto de noviembre a abril. La temperatura media anual varía entre 25,5 y 26,4 °C, la máxima va de 33,8 a 36,6 °C en los meses más cálidos (mayo y junio), y la mínima va de 15,1 a 19,4 °C en el mes de enero (Cuanalo *et al.* 1989, Ku *et al.* 2005). En el estado de Campeche estos suelos ocupan una superficie cercana a 270 mil hectáreas, concentradas principalmente en los municipios de Calkiní, Hecelchakán, Tenabo, Hopolchén y Campeche (Ku *et al.* 2005).

Período experimental

El estudio se llevó a cabo entre 2003 y 2006. Iniciando con la selección de los sitios de observación, continuando con el muestreo del suelo, los análisis de

laboratorio, y posteriormente la concentración de la información de campo y laboratorio para su análisis.

Selección de los sistemas producción utilizados en la investigación

La selección de los sistemas de producción se realizó con base en la información sobre producción de los diferentes cultivos en el Estado de Campeche (INEGI 2002). Se tuvo como criterio-base para la selección la importancia social y económica de ellos, seleccionándose los sistemas de maíz cultivado bajo temporal y el mango cultivado bajo riego. Dentro de los municipios productores de maíz y mango en la entidad, se identificaron y seleccionaron los de mayor superficie sembrada sobre Luvisoles. Los sitios de observación para el sistema de maíz se ubicaron en el municipio de Hecelchakán y los del sistema de mango en los municipios de Tenabo y Campeche.

Tecnología de producción en los sistemas seleccionados.

El maíz en Campeche se siembra en su mayor parte bajo temporal, aproximadamente unas 150 mil hectáreas, de las que un 60 a 70 % se ubican en suelos tipo Luvisol. El número de productores en la entidad es de 30 mil aproximadamente. La siembra tiene lugar a inicio de la temporada de lluvias, mayo a junio, y se extiende hasta principio de agosto. La planta florece de 52 a 55 días después de la siembra y la cosecha ocurre de 120 a 130 días después de la siembra. Predominan la preparación del suelo con maquinaria sobre la roza-tumba-quema, la siembra con sembradora sobre la siembra manual, el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades de polinización libre sobre el uso de variedades criollas. La fertilización incluye generalmente una aplicación de fertilizante al momento de la siembra, basada en una fuente, el Fosfato de amonio, que se utiliza en cantidades variables, desde 50 a 150 kg/ha. El control de maleza se realiza mayormente con herbicidas y la cosecha se realiza con maquinaria. Los rendimientos promedio varían de 2,5 a 3,5 t/ha en suelos preparados con maquinaria, y en roza-tumba-quema éstos son de 600 a 1.200 kg/ha.

En cuanto al cultivo de mango, la superficie sembrada en Campeche es de 2.000 hectáreas aproximadamente, y participan en ella unos 450 productores. La producción desde un inicio fue orientada hacia la exportación,

sin embargo hoy se encuentra en decadencia debido a factores de mercado y problemas fitosanitarios que requieren tratamiento cuarentenario. Predomina la variedad Tommy Atkins sobre otras como Ataulfo, Manila y Haden. Las plantas se encuentran a libre crecimiento pues la única poda que se realiza es la de saneamiento. La aplicación de fertilizantes es casi nula, y los escasos agroquímicos utilizados se encaminan a combatir los dos problemas más importantes, la antracnosis del fruto y las moscas de las frutas. El manejo del cultivo implica el uso de suplemento hídrico mediante el riego cuando el agua proveniente de la lluvia escasea en los meses de diciembre a abril. La floración del mango Tommy Atkins ocurre entre los meses de diciembre a febrero, y la cosecha en los meses de abril a junio. Los rendimientos bajo estas condiciones van de 12 a 24 t/ha en huertos de 15 a 30 años de edad, sin embargo, en éstos últimos la cosecha se dificulta y la calidad merma grandemente, por lo que los precios que se obtienen son ante todo bajos.

Sistema de vegetación natural (referencia)

El sistema de vegetación natural de selva mediana subperennifolia fue utilizado como referencia de un sistema de suelo no disturbado. El criterio utilizado en la selección de los sitios en este sistema fue que éstos no hubieran sido desmontados con anterioridad, ni utilizados bajo el sistema de roza-tumba-quema. Estos sitios de observación fueron seleccionados por los propios productores cooperantes, procurando que estos sitios tuvieran características topográficas, así como de suelo (luvisol) y vegetación, similares a las de los terrenos bajo cultivo.

Estratificación del tiempo y selección de productores cooperantes

El tiempo de uso del suelo se estratificó a partir del desmonte del terreno en el caso del sistema de maíz, y el año de establecimiento de los huertos en el caso del sistema de mango (Cuadro 1). De esta manera, el estudio comprendió un período de 30 años, de 1974 a 2003. Este intervalo de tiempo fue caracterizado por el gran impulso en el empleo de maquinaria en la agricultura, en esta entidad. En los años setentas se efectuaron gran parte de los desmontes en forma mecanizada en Campeche, y se comenzó a sembrar maíz en grandes áreas y a establecer las primeras plantaciones de mango.

Cuadro 1. Tiempo de uso del suelo en cada estrato y año del desmonte del terreno, o de establecimiento de los huertos en los sitios de investigación. Campeche, México. 1974-2003.

| Estrato de tiempo | Tiempo de uso del suelo (años) | Año de desmonte del terreno (sistema de maíz) y año de establecimiento del huerto (sistema de mango) |
|-------------------|--------------------------------|--|
| E1 | 1 a 5 | 1999 a 2003 |
| E2 | 6 a 10 | 1994 a 1998 |
| E3 | 11 a 15 | 1989 a 1993 |
| E4 | 16 a 20 | 1984 a 1988 |
| E5 | 21 a 25 | 1979 a 1983 |
| E6 | 26 a 30 | 1974 a 1978 |

Los intervalos de tiempo de cinco años de uso, de 1974 a 2003, fueron denominados estratos de tiempo dentro de esta investigación (E1 a E6). El estrato más antiguo, de 1974 a 1978, correspondió a terrenos desmontados que han sido desde entonces dedicados a la siembra de maíz bajo temporal, por una parte, o bien, al cultivo de mango bajo riego; mientras que el estrato más joven, de 1999 a 2003, comprende por una parte, a terrenos desmontados recientemente y destinados a la siembra de maíz, o bien, a huertos de mango recientemente establecidos.

Para la selección de los productores cooperantes se obtuvo información 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. Se obtuvo el año de desmonte de las parcelas y el año de establecimiento de los huertos en el caso del sistema de mango, número de integrantes de cada grupo de trabajo, de donde se derivó el número de productores con superficie sembrada sobre suelo luvisol, y aspectos tecnológicos y socioeconómicos.

Dentro de cada estrato de tiempo se seleccionaron ocho productores, dando lugar a 48 de ellos por cultivo. Los criterios de selección para los productores cooperantes fueron: 1) para el sistema de maíz: 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 2) para el sistema de mango: 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 sistema de maíz, y de 0,5 a 2,0 ha para el sistema de mango. En el sistema de vegetación natural, los sitios de observación tuvieron una superficie variable entre 0,5 y 10,0 ha, aproximadamente, y fueron seleccionados por los propios agricultores, lo más cercano posible a sus parcelas.

Muestreo del suelo y propiedades a determinar

El muestreo del suelo se realizó a una profundidad entre 0 y 20 cm, tanto en los sistemas de cultivo como en los sitios de vegetación natural; la definición de dicha profundidad de muestreo tuvo la finalidad de realizar la comparación de los cambios ocasionados en el tiempo en ese perfil del suelo por ambos agroecosistemas, y posteriormente compararlos con el estado actual de ese perfil en el suelo sin disturbio. También se consideró que la labranza del suelo en el cultivo de maíz, en esta región, no va más allá del perfil de 0-20 cm; así mismo, también se tomó en cuenta que en el sistema de mango, los suelos tuvieron un uso previo con maíz y otros cultivos por un número variable de años a partir del desmonte (Cuadro 2), 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 de suelo para formar la muestra compuesta. En el sistema de maíz y el sistema de vegetación natural, el muestreo se llevó a cabo siguiendo un diseño semialineado en zig-zag (Aguilar *et al.* 1987, Salgado *et al.* 1999), el cual también se utilizó en el sistema de mango, sustituyéndolo en ocasiones por el denominado “cinco de oros”, 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 y Hernández 2002, León 2003).

Cuadro 2. Años de uso y estratos de tiempo (E) y tiempo de uso previo a la siembra del mango. Campeche, México. 1974-2003.

| Estrato de tiempo | Tiempo de uso del suelo (años) | Tiempo de cultivo previo a la siembra del mango (cultivos: maíz sorgo, girasol, soya y diversas hortalizas) (años) |
|-------------------|--------------------------------|--|
| E1 | 1 a 5 | 21 a 25 |
| E2 | 6 a 10 | 16 a 20 |
| E3 | 11 a 15 | 11 a 15 |
| E4 | 16 a 20 | 6 a 10 |
| E5 | 21 a 25 | 1 a 5 |
| E6 | 26 a 30 | 1 a 2 |

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 del maíz, y en el mango al inicio de la floración, antes de iniciar el riego. Las propiedades químicas del suelo determinadas y los métodos utilizados se señalan en el Cuadro 3.

Análisis estadístico de la información

Fue utilizado un análisis de regresión para las variables de las propiedades químicas y físicas estudiadas en relación con el tiempo de uso del suelo y se obtuvieron modelos matemáticos (Draper y Smith 1998, Volke *et al.* 2005).

RESULTADOS

Bases para el análisis de propiedades del suelo

Los estratos de tiempo de uso del suelo, E1 a E6, en los sistemas de maíz bajo temporal y de mango bajo riego, se ubicaron en diferentes municipios y comunidades (localidades); no obstante, a pesar de la amplia distribución geográfica de las comunidades, hubo coincidencias, tanto entre ellos, como con el ecosistema de selva utilizado como referencia; estas coincidencias fueron: Profundidad del suelo > 1,5 m (incluye al horizonte A y parcialmente al B), carencia de pedregosidad, pendiente < 1,0 %, predominio de colores en húmedo en la capa de 0-20 cm, siendo rojo oscuro (10R 3/2, 10R 3/3), rojo muy oscuro (10R 2,5/2) y

Cuadro 3. Propiedades químicas del suelo luvisol en un periodo de 30 años, bajo cultivo de maíz y mango, un método utilizado y bibliografía consultada. Campeche, México. 1974-2003.

| Propiedad | Método / solución extractora | Referencia bibliográfica |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| pH | Suelo-agua (1:2) | Van Reeuwijk (1999) |
| Conductividad eléctrica | Suelo-agua (1:5) | Van Reeuwijk (1999) |
| Materia orgánica total | Combustión húmeda | Rodríguez y Rodríguez (2002) |
| Potasio intercambiable | Acetato de amonio pH 7 | Van Reeuwijk (1999) |
| Sodio intercambiable | Acetato de amonio pH 7 | Van Reeuwijk (1999) |
| Calcio intercambiable | Acetato de amonio pH 7 | Van Reeuwijk (1999) |
| Magnesio intercambiable | Acetato de amonio pH 7 | Van Reeuwijk (1999) |
| Fósforo Olsen | Bicarbonato de sodio | Aguilar <i>et al.</i> (1987) |
| Hierro | Extracción con DTPA | Aguilar <i>et al.</i> (1987) |
| Manganeso | Extracción con DTPA | Aguilar <i>et al.</i> (1987) |
| Cobre | Extracción con DTPA | Aguilar <i>et al.</i> (1987) |
| Zinc | Extracción con DTPA | Aguilar <i>et al.</i> (1987) |

negro rojizo (10R 2,5/1) (Cuadro 4); textura arcillosa, con valores fluctuantes entre: 67,7 y 75,8 % para el sistema maíz, 63,9 y 70,8 % para el sistema de mango y 64,2 a 74,5 % para el sistema de vegetación natural (Cuadro 5). Los análisis de varianza para arena, limo y arcilla, en los sistemas de cultivo y la vegetación natural, indicaron que la arena y arcilla no variaron significativamente con el tiempo, y que el contenido de limo varió en el sistema de mango, pero no en el sistema de maíz. Lo anterior justificó el que hubiese sido posible realizar comparaciones entre estratos aún cuando éstos se ubicaron parcial o totalmente en diferentes localidades.

Los valores de las propiedades químicas del suelo, que se presentan en el Cuadro 6, sirvieron de base para elaborar las Figuras 1 a 12, que representan la forma en que se relacionan las propiedades del suelo con los estratos de tiempo de uso. Con base en las relaciones gráficas (Figuras 1 a 12), se especificó un modelo de regresión para expresar el efecto del tiempo de uso del suelo sobre cada una de las propiedades químicas y contenidos nutrimentales del suelo; dichos modelos se presentan en los Cuadros 7 y 8, y a ellos se recurre en la redacción correspondiente a cada propiedad, aunque sólo se cita en ella a la figura correspondiente.

Estos modelos de regresión incluyeron al suelo con vegetación natural como la condición inicial de las propiedades del suelo antes del establecimiento del sistema de maíz de temporal y la condición final en el sistema de mango bajo riego, tratando de observar si en el sistema de cultivo perenne las propiedades del suelo presentan una regresión hacia las del sistema de vegetación natural.

En el sistema de maíz, el pH disminuyó con el tiempo, pasando de neutro a ligeramente ácido (6,6 a 6,2), con un valor de 6,4 en el sistema de vegetación natural (Figura 1). En contraste con lo anterior, en el sistema de mango el pH aumentó con el tiempo, pasó de ligeramente ácido a neutro, y mantuvo un valor en el sistema de vegetación natural (VN) similar al de los estratos E1 y E2.

La conductividad eléctrica (CE) en el maíz, tanto como en el mango, presentó valores bajos, por lo que no se considera que hubieran problemas de salinidad del suelo, lo cual pudiera estar obstruyendo la absorción de agua y nutrimentos como lo señala Vázquez (1996). En el sistema de maíz se presentaron valores bajos en la CE y una disminución con el tiempo, de 0,07 a 0,03 dS/m, con un valor de 0,06 dS/m en el sistema de vegetación natural (Figura 2). Por el contrario,

Cuadro 4. Color del suelo superficial en los estratos de tiempo (periodo de cinco años entre 1974 y 2003) de los sistemas de maíz bajo temporal, mango bajo riego y vegetación natural. Campeche, México. 1974-2003.

| Estrato de tiempo ¹ | Color del suelo húmedo (porcentaje de suelos por color) | | | | | |
|--------------------------------|---|-----------|----------|-----------|-----------|---------|
| | 5YR 3/2 | 7,5YR 3/4 | 10YR 3/2 | 10R 2,5/1 | 10R 2,5/2 | 10R 3/2 |
| Maíz bajo temporal | | | | | | |
| E1 (1 a 5) | | 25,0 | | 50,0 | 25,0 | |
| E2 (6 a 10) | | | | | 37,5 | 62,5 |
| E3 (11 a 15) | | | | | 87,5 | 12,5 |
| E4 (16 a 20) | | | | | 87,5 | 12,5 |
| E5 (21 a 25) | | | | 75,0 | | 25,0 |
| E6 (26 a 30) | | | | | 75,0 | 25,0 |
| Vegetación natural | | | | | 40,0 | 60,0 |
| Mango bajo riego | | | | | | |
| E1 (1 a 5) | | 12,5 | 12,5 | 25,0 | 37,5 | 12,5 |
| E2 (6 a 10) | | | | 50,0 | 50,0 | |
| E3 (11 a 15) | | | | 75,0 | 25,0 | |
| E4 (16 a 20) | 25,0 | | | 62,5 | 12,5 | |
| E5 (21 a 25) | | | | 37,5 | | 62,5 |
| E6 (26 a 30) | | | | | 100,0 | |
| Vegetación natural | | | | 40,0 | 40,0 | 20,0 |

¹ Tiempo de uso del suelo en años, en intervalos de cinco años.

Cuadro 5. Valores medios de arena, limo y arcilla del suelo y su significancia en los estratos de tiempo de los sistemas de maíz bajo temporal, mango bajo riego y vegetación natural. Campeche, México. 1974-2003.

| Estrato de tiempo ¹ | Arena | Limo | Arcilla |
|--------------------------------|-----------------|----------|---------|
| | ----- (%) ----- | | |
| Maíz bajo temporal | | | |
| E1 (1 a 5) | 6,2 | 18,9 | 74,9 |
| E2 (6 a 10) | 9,0 | 23,2 | 67,7 |
| E3 (11 a 15) | 10,0 | 19,8 | 70,2 |
| E4 (16 a 20) | 6,2 | 20,0 | 73,9 |
| E5 (21 a 25) | 6,5 | 17,7 | 75,8 |
| E6 (26 a 30) | 7,4 | 17,9 | 74,8 |
| Vegetación natural | 8,7 | 16,8 | 74,5 |
| Significancia a estratos | ns | ns | ns |
| Mango bajo riego | | | |
| E1 (1 a 5) | 12,7 | 16,5 b * | 70,8 |
| E2 (6 a 10) | 15,1 | 18,4 ab | 66,5 |
| E3 (11 a 15) | 15,0 | 21,0 ab | 63,9 |
| E4 (16 a 20) | 15,4 | 20,6 ab | 63,9 |
| E5 (21 a 25) | 11,2 | 23,4 a | 65,4 |
| E6 (26 a 30) | 9,3 | 25,2 a | 65,4 |
| Vegetación natural | 13,8 | 22,2 ab | 64,2 |
| Significancia a estratos | ns | | ns |

¹ Tiempo de uso del suelo en años, en intervalos de cinco años

ns = no significancia al nivel de probabilidad de 0,05.

* = significancia al nivel de probabilidad de 0,05.

Cuadro 6. Propiedades químicas y contenidos nutrimentales del suelo en los estratos de tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego, y en el sistema de vegetación natural. Campeche, México. 1974-2003.

| Estrato de tiempo (años) ¹ | pH | CE | MO | P | Ca | Mg | K | Na | Fe | Mn | Cu | Zn |
|---------------------------------------|------|--------|------|-----|-----------------------|------|------|-------|---------------------|-----|------|------|
| | | (dS/m) | (%) | | ----- (cmol/kg) ----- | | | | ----- (mg/kg) ----- | | | |
| Maíz bajo temporal | | | | | | | | | | | | |
| VN** | 6,42 | 0,063 | 5,70 | 0,9 | 19,0 | 2,90 | 1,61 | 0,170 | 8,0 | 148 | 1,96 | 1,22 |
| E1 (1 a 5) | 6,61 | 0,066 | 4,80 | 2,8 | 17,7 | 3,54 | 1,96 | 0,170 | 15,1 | 221 | 2,56 | 1,30 |
| E2 (6 a 10) | 6,51 | 0,059 | 4,70 | 2,2 | 16,3 | 2,50 | 1,30 | 0,140 | 11,0 | 146 | 1,90 | 1,70 |
| E3 (11 a 15) | 6,23 | 0,067 | 4,20 | 1,9 | 15,5 | 2,35 | 1,41 | 0,140 | 11,1 | 170 | 2,04 | 1,75 |
| E4 (16 a 20) | 6,36 | 0,052 | 3,40 | 5,3 | 14,7 | 2,19 | 1,76 | 0,190 | 9,0 | 138 | 2,07 | 1,48 |
| E5 (21 a 25) | 6,45 | 0,044 | 3,60 | 7,5 | 14,9 | 2,48 | 2,06 | 0,220 | 13,3 | 164 | 2,43 | 1,85 |
| E6 (26 a 30) | 6,27 | 0,034 | 3,70 | 9,0 | 14,2 | 3,08 | 2,19 | 0,250 | 15,3 | 164 | 2,40 | 1,43 |
| Mango bajo riego | | | | | | | | | | | | |
| E1 (1 a 5) | 6,40 | 0,052 | 3,30 | 2,3 | 14,9 | 3,22 | 1,60 | 0,200 | 18,8 | 210 | 1,99 | 0,61 |
| E2 (6 a 10) | 6,20 | 0,111 | 4,60 | 2,0 | 15,7 | 3,30 | 1,89 | 0,350 | 29,8 | 214 | 2,94 | 1,64 |
| E3 (11 a 15) | 6,60 | 0,118 | 5,00 | 4,2 | 17,3 | 3,59 | 2,01 | 0,360 | 23,0 | 226 | 2,87 | 2,24 |
| E4 (16 a 20) | 6,80 | 0,116 | 5,80 | 4,5 | 17,4 | 2,75 | 1,78 | 0,200 | 25,1 | 146 | 2,61 | 1,76 |
| E5 (21 a 25) | 6,90 | 0,106 | 5,50 | 5,0 | 17,1 | 2,85 | 1,89 | 0,120 | 22,5 | 175 | 2,48 | 1,03 |
| E6 (26 a 30) | 7,10 | 0,123 | 5,60 | 4,5 | 17,2 | 1,76 | 1,48 | 0,110 | 22,0 | 91 | 2,10 | 1,04 |
| VN | 6,50 | 0,101 | 5,40 | 2,6 | 24,2 | 3,06 | 2,10 | 0,140 | 11,6 | 150 | 1,92 | 0,88 |

¹ Tiempo de uso del suelo en años, en intervalos de cinco años.

pH = reacción del suelo, CE = conductividad eléctrica, MO = materia orgánica, NO³ = nitratos, Ca = calcio intercambiable, Mg = magnesio intercambiable, K = potasio intercambiable, Na = sodio intercambiable, P = fósforo (Olsen), Fe = hierro, Mn = manganeso, Cu = cobre, Zn = zinc.

** VN = vegetación natural.

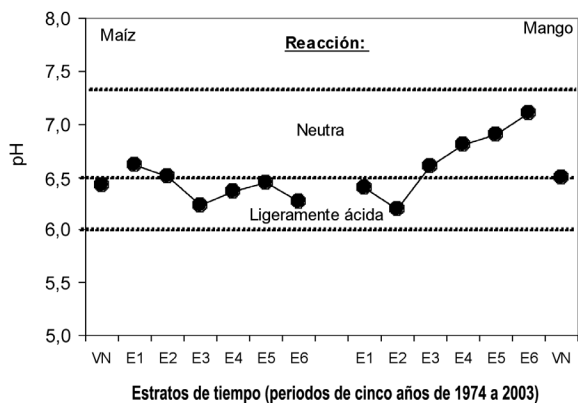


Figura 1. pH del suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural. Campeche, México.

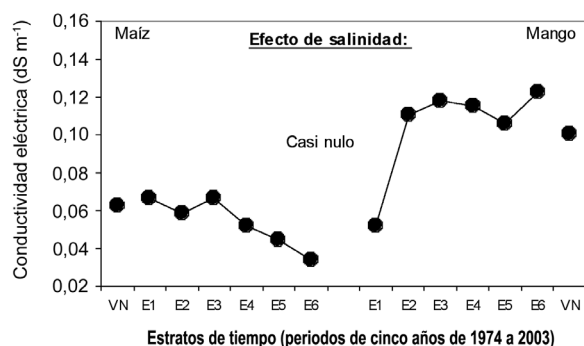


Figura 2. Conductividad eléctrica del suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango y su promedio en el sistema de vegetación natural. Campeche, México.

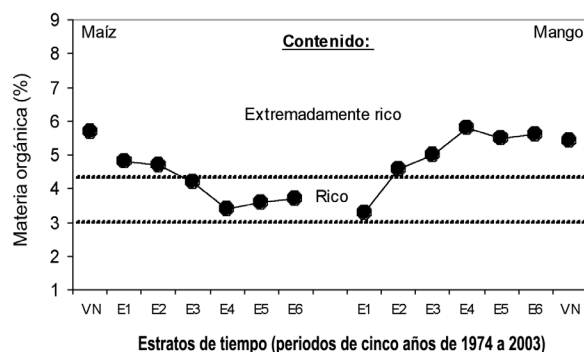


Figura 3. Contenido de materia orgánica del suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

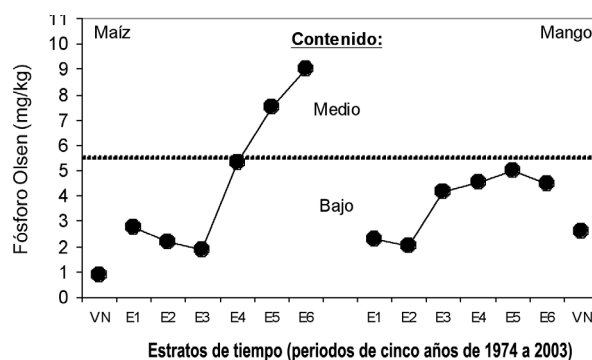


Figura 4. Contenido de fósforo en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

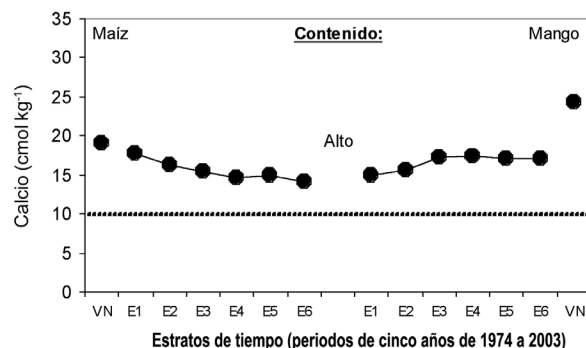


Figura 5. Contenido de calcio intercambiable de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

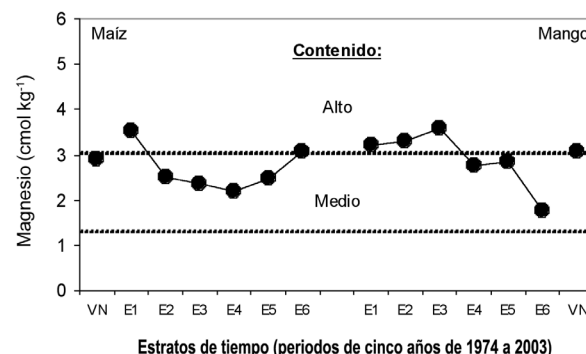


Figura 6. Contenido de magnesio intercambiable en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

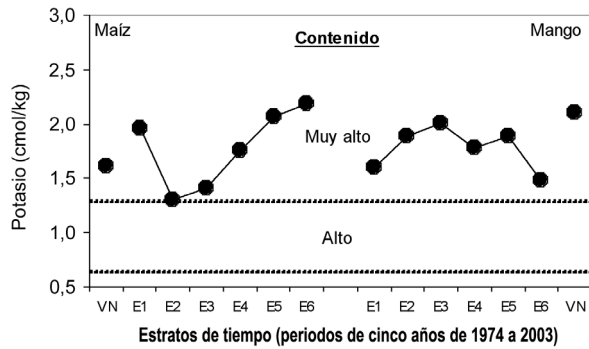


Figura 7. Contenido de potasio intercambiable en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

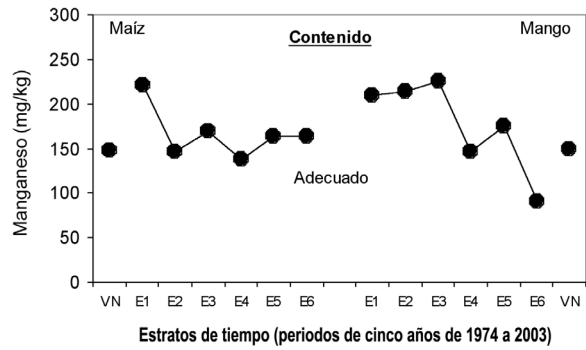


Figura 10. Contenido de manganeso en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

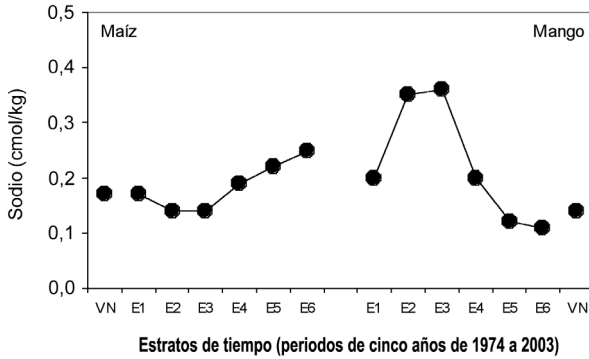


Figura 8. Contenido de sodio intercambiable en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

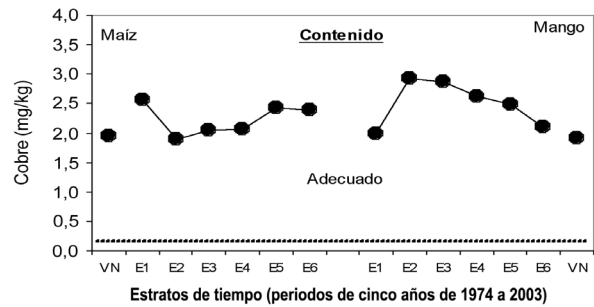


Figura 11. Contenido de cobre en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

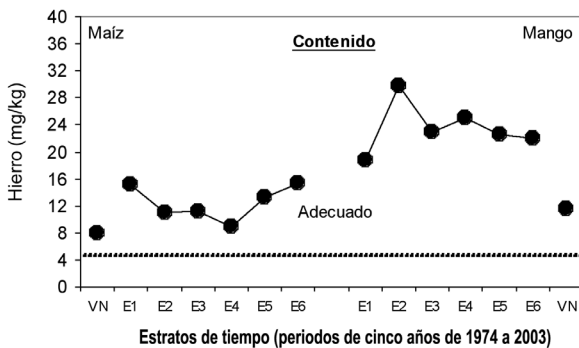


Figura 9. Contenido de hierro en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

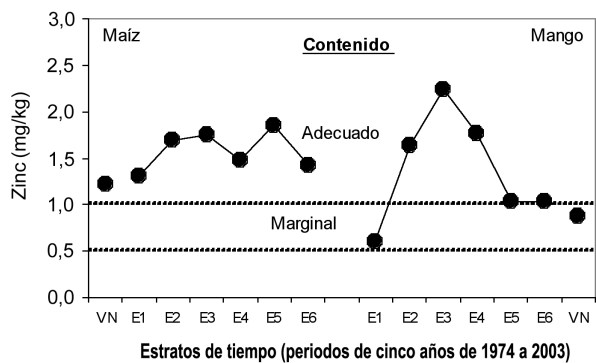


Figura 12. Contenido de zinc en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

Cuadro 7. Modelos de regresión para propiedades químicas y contenidos nutrimentales del suelo en función de su tiempo de uso en el sistema de maíz bajo temporal. Campeche, México. 1974-2003.

| Propiedad | Modelo* | R ² |
|---|--|----------------|
| pH (tomando en cuenta los estratos de tiempo) | $\text{pH} = 7,43 - 1,013\text{N} - 0,790 \text{E}^{0,75} + 0,058 \text{E}^{1,5}$ (0,025) (0,043) (0,151) | 0,178 |
| pH (sin tomar en cuenta los estratos de tiempo) | $\text{pH} = 5,30 + 0,049\text{Ca} + 0,136 \text{K}$ (0,001) (0,085) | 0,329 |
| Conductividad eléctrica (CE) (dS/m) | $\text{CE} = 0,0496 - 0,000794 \text{E}^2 + 0,00101 \text{Ca}$ (0,001) (0,078) | 0,538 |
| Materia orgánica (MO) (%) | $\text{MO} = 5,47 - 0,894 \text{E}^{0,5} + 0,347 (\text{H}-6,0)$ (0,001) (0,047) | 0,806 |
| Fósforo Olsen (P) (mg/kg) | $\text{P} = 4,13 - 6,18 \text{N} - 4,96 \text{E} + 1,52 \text{E}^2 - 0,0971 \text{E}^3 + 9,48 (\text{H}-6) - 5,81 (\text{H}-6)^2$ (0,004) (0,021) (0,026) (0,125) (0,001) (0,001) | 0,860 |
| Calcio intercambiable (Ca) (cmol/kg) | $\text{Ca} = 17,29 - 2,15\text{E}^{0,5} + 0,425 \text{A} - 0,0172 \text{A}^2$ (0,001) (0,055) (0,112) | 0,544 |
| Potasio intercambiable (K) (cmol/kg) | $\text{K} = 1,850 - 0,4482 \text{N} - 0,08312 \text{E}^2 - 0,5339 \text{S} + 0,1031 \text{E}^2 \text{S} + 0,06884 \text{A}^{0,50}$ (0,01) (0,75) (0,01) (0,01) (0,158) | 0,621 |
| Magnesio intercambiable (Mg) (cmol/kg) | $\text{Mg} = 7,219 - 6,288 \text{N} - 7,574 \text{E}^{0,5} + 2,079 \text{E} + 1,178 \text{A} - 0,1673 \text{A}^2$ (0,001) (0,001) (0,001) (0,005) (0,022) | 0,737 |
| Sodio intercambiable (Na) (cmol/kg) | $\text{Na} = 0,1708 - 0,0207 \text{E}^2 + 0,008312 \text{E}^3 - 0,0007540 \text{E}^4$ (0,063) (0,053) (0,073) | 0,431 |
| Fe (mg/kg) | $\text{Fe} = 9,84 - 11,84 \text{N} - 5,78 \text{E} + 0,847 \text{E}^2$ (0,001) (0,001) (0,001) | 0,611 |
| Mn (mg/kg) | $\text{Mn} = 194,9 + 70,15 \text{E}1 - 53,11 (\text{H} - 6,0)^{0,25}$ (0,001) (0,002) | 0,543 |
| Cu (mg/kg) | $\text{Cu} = 5,082 - 3,062 \text{N} - 3,420 \text{E}^{0,50} + 0,980 \text{E} - 0,0782 \text{P} + 0,007954 \text{P}^2$ (0,001) (0,001) (0,001) (0,009) (0,018) | 0,539 |
| Zn (mg/kg) | $\text{Zn} = 0,953 + 0,2999 \text{E} - 0,03988 \text{E}^2 + 0,3826 \text{H}^{0,75}$ (0,007) (0,016) (0,057) | 0,210 |

* E = estratos de 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25 y 26-30 años.

E1 = variable auxiliar para el estrato de 1-5 años, para considerar valores muy bajos o muy altos de la variable dependiente.

N = variable auxiliar para el sistema de vegetación natural.

H= pH del suelo, Ca = calcio intercambiable del suelo, M= materia orgánica del suelo, C= arcilla del suelo, A = arena del suelo.

S = variable auxiliar para diferenciar a los estratos 1, 2 y 3 de los estratos 4, 5 y 6, de los cuales, los primeros presentan un efecto negativo del tiempo de uso y los segundos un efecto positivo.

El valor debajo de los coeficientes de regresión corresponde al nivel de significancia.

en el mango, la CE se incrementó de manera rápida del estrato de uno a cinco años (E1) al estrato de seis a 10 años (E2), a partir del cual ya hubo variación, presentando valores de 0,10 a 0,12 dS/m, muy similares a los del sistema de vegetación natural.

La materia orgánica del suelo (MO) disminuyó en el tiempo en el sistema de maíz, mientras que en el sistema de mango se incrementó (Figura 3). Los estratos de tiempo en el sistema de maíz presentaron valores de MO que variaron de 4,8 a 3,7 %, mientras que en el sistema de mango éstos variaron de 3,3 a 5,6 %.

La materia orgánica en las áreas de vegetación de los sistemas de maíz y mango presentó valores de 5,7 % y 5,4 %, respectivamente, calificados como extremadamente ricos (Rodríguez y Rodríguez 2002). El estrato de 26-30 años en el sistema de mango (E6), presentó un valor similar al de vegetación natural.

El fósforo Olsen, en el cultivo de maíz, aumentó con el tiempo, de 2,8 a 9,0 mg/kg, en los estratos E1 y E6, respectivamente, presentando un valor de 0,9 mg/kg en el sistema de vegetación natural, el cual fue inferior a los estratos de tiempo evaluados (Figura 4). En

Cuadro 8. Modelos de regresión para propiedades químicas y contenidos nutrimentales del suelo en función de su tiempo de uso en el sistema de mango bajo riego. Campeche, México. 1974-2003.

| Propiedad | Modelo* | R ² |
|--|--|----------------|
| pH | $\text{pH} = 3,51 + 0,555 \text{ E} - 0,0434 \text{ E}^2 + 0,525 \text{ E1} + 0,433 \text{ Ca}^{0,5} - 0,8455 \text{ N}$ (0,01) (0,06) (0,02) (0,01) (0,01) | 0,684 |
| Conductividad eléctrica (CE) (dS/m) | $\text{CE} = 0,117 - 0,0639 \text{ E1} - 0,000819 \text{ E}$ (0,01) (0,73) | 0,395 |
| Materia orgánica (MO) (%) | $\text{MO} = 4,05 + 6,99 \text{ E}^{0,5} - 1,56 \text{ E} + 0,289 \text{ pH}$ (0,01) (0,01) (0,02) | 0,932 |
| P (Olsen) (mg/kg) | $\text{P} = 1,44 + 0,320 \text{ E}^2 - 0,0444 \text{ E}^3 + 1,033 (\text{H} - 6,0)^2$ (0,01) (0,01) (0,03) | 0,368 |
| Calcio intercambiable (Ca) (cmol/kg) | $\text{Ca} = 11,52 + 3,73 \text{ E}^{0,75} - 0,596 \text{ E}^{1,5} + 7,70 \text{ N}$ (0,08) (0,15) (0,01) | 0,588 |
| Magnesio intercambiable (Mg) (cmol/kg) | $\text{Mg} = 2,75 + 0,562 \text{ E} - 0,119 \text{ E}^2 + 2,21 \text{ N}$ (0,01) (0,01) (0,01) | 0,522 |
| Potasio intercambiable (Ki) (cmol/kg) | $\text{Ki} = 1,28 + 0,407 \text{ E} - 0,0619 \text{ E}^2 + 1,20 \text{ N}$ (0,01) (0,01) (0,01) | 0,419 |
| Na (cmol/kg) | $\text{Na} = 0,480 - 0,255 \text{ E1} - 0,0288 \text{ E}^2 + 0,00310 \text{ E}^3$ (0,01) (0,01) (0,01) | 0,556 |
| Fe (mg/kg) | $\text{Fe} = 29,04 - 4,95 \text{ E1} + 0,951 \text{ E} - 17,86 \text{ N} - 10,68 (\text{H} - 6,0)^2$ (0,04) (0,11) (0,01) (0,01) | 0,713 |
| Mn (mg/kg) | $\text{Mn} = 236,6 - 2,37 \text{ E}^2 + 43,67 \text{ N} - 31,26 (\text{H} - 6,0)^2$ (0,01) (0,02) (0,01) | 0,584 |
| Cu (mg/kg) | $\text{Cu} = 3,321 - 1,214 \text{ E1} - 0,192 \text{ E} + 0,358 (\text{H} - 6,0) - 0,302 (\text{H} - 6,0)^2$ (0,01) (0,01) (0,021) (0,09) | 0,812 |
| Zn (mg/kg) | $\text{Zn} = -1,73 + 3,053 \text{ E} - 0,754 \text{ E}^2 + 0,0531 \text{ E}^3$ | 0,673 |

* E = estratos de 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25 y 26-30 años.

E1, E2, E3, E4 y E6 = variables auxiliares para los estratos de 1-5, 6-10, 11-15, 16-20 y 26-30 años, respectivamente, para considerar valores muy bajos o muy altos de la variable dependiente.

El valor debajo de los coeficientes de regresión corresponde al nivel de significancia.

los primeros 15 años después del desmonte, el fósforo permaneció en el nivel bajo, pero a partir del estrato de 16-20 años inicia su incremento hasta llegar a alcanzar el nivel medio en el estrato E4 (21-25 años).

El contenido de fósforo en los estratos de 21 a 25 y 26 a 30 años (E5 y E6) se ubicó en un nivel medio, lo que señala que el suelo podría aportar entre un 50 y 75 % de las necesidades del cultivo, por lo que hay entre 25 y 50 % de probabilidades de encontrar respuesta a la aplicación de fósforo al suelo. En el mango, si bien, el fósforo aumentó con el tiempo, de 2,3 a 4,5 mg/kg (E1 a E6, respectivamente), su incremento no fue sostenido y pareció llegar a un equilibrio a partir del estrato E3 (11-15 años), con valores bajos (Vázquez 1996 y Salgado *et al.* 1999) en todo el intervalo de tiempo bajo estudio, que tienden a asemejarse al del suelo de la vegetación natural, lo que indicaría que este elemento

ha retornado a sus estado orgánico. Este nivel bajo fue indicativo de que hay más del 75 % de probabilidades de encontrar respuesta a la aplicación de fertilizante fosforado (Wolf 1985, Havlyn *et al.* 1999).

En ambos sistemas de cultivo el calcio intercambiable presentó valores altos (Figura 5); lo que significó que las necesidades de calcio en el cultivo son cubiertas totalmente por el contenido del suelo. Por otra parte, mientras que en el sistema de maíz el calcio disminuyó con el tiempo, en el sistema de mango ocurrió lo contrario. En el maíz los valores disminuyeron desde 17,7 cmol/kg en el estrato de uno a cinco años (E1) a 14,2 cmol/kg en el estrato de 26-30 años (E6), con un valor intermedio de 19,0 cmol/kg en el sistema de vegetación natural.

En el sistema de mango el calcio alcanzó un valor de 14,9 cmol/kg en el estrato de uno a cinco años (E1),

similar al del cultivo previo de maíz bajo temporal, a 17,2 cmol/kg en el estrato de 26-30 años (E6); sin embargo, sus valores fueron inferiores a los del sistema de vegetación natural, del orden de 24,2 cmol/kg. Lo anterior pareciera indicar que la extracción de calcio por el mango, así como la lixiviación, pudieran ser dos mecanismos que mantienen un equilibrio con la aportación de calcio al suelo por el agua de riego que se utiliza anualmente, lo que evita su acumulación en el suelo.

En el sistema de maíz, el magnesio intercambiable presentó dos cambios en su comportamiento (Figura 6); primero tuvo una disminución, del estrato de uno a cinco años (E1), al estrato de 16 a 20 años (E4), luego aumentó con el tiempo hasta el estrato de 26 a 30 años (E6). Por otra parte, en el sistema de mango, la tendencia general del magnesio fue hacia una disminución.

Según se observa en la Figura 6, los valores alcanzados por el magnesio pueden considerarse altos en los estratos de uno a cinco y 26-30 años (E1 y E6) del sistema de maíz, y bajos en los demás estratos de tiempo, siendo éstos los que más se asemejan al sistema de vegetación natural; en el mango, se presentaron valores altos en los estratos de uno a 15 años (E1 a E3), entre 3,22 y 3,59 cmol/kg, y posteriormente un valor bajo de 1,76 cmol/kg en el estrato de 26-30 años, que resulta inferior al del suelo con vegetación natural, que alcanzó un valor de 3,1 cmol/kg.

En cuanto al potasio, en el sistema de maíz se presentaron altos valores en todo el intervalo de tiempo bajo estudio y en el sistema de vegetación natural. Se registraron dos cambios en su comportamiento, ya que primero disminuyó entre los estratos de uno a cinco y seis a 10 años (E1 y E2) y luego aumentó entre los seis y 30 años (E2 y E6) (Figura 7). Por otra parte, en el sistema de mango, el potasio presentó un contenido muy alto (mayor de 1,8 cmol/kg) (Vázquez 1996, Salgado *et al.* 1999), con un incremento de 1,60 cmol/kg en el estrato de uno a cinco años a 2,01 cmol/kg en el estrato de 11-15 años y una posterior disminución a 1,48 cmol/kg en el estrato de 26-30 años, valores que fueron ligeramente inferiores al observado en el sistema de vegetación natural, con 2,06 cmol/kg.

En cuanto al sodio del suelo, en el sistema de maíz, éste aumentó con el tiempo de 0,14 a 0,17 cmol/kg en los estratos de 1 a 15 años (E1 a E3), hasta un valor de 0,25 cmol/kg en el estrato de 26-30 años (E6) (Figura 8). En el sistema de mango, el sodio presentó una tendencia hacia el incremento en los primeros 15 años de desarrollo de los huertos (E1 a E3), seguido

de una disminución, la cual abarcó los estratos de 16 a 30 años (E4 a E6).

El hierro presentó valores adecuados tanto en el maíz como en el mango (Salgado *et al.* 1999); en el maíz se registró una disminución a partir del estrato de uno a cinco años (E1), y posteriormente se revirtió a partir del estrato de 21-25 años (E5), los valores del suelo cultivado fueron ligeramente superiores al del sistema de vegetación natural (Figura 9). En el sistema de mango, el hierro presentó el menor valor (18,8 mg/kg) en el estrato de uno a cinco años (E1) y varió entre 29,8 a 22,0 mg/kg en los estratos siguientes (E2 a E6), denotando con ello un incremento con el tiempo de uso y posteriormente una tendencia hacia la disminución, no obstante el contenido de hierro que se registró en los huertos resultó superior al del sistema de vegetación natural. Por los valores observados, teóricamente se podría afirmar que el hierro no significó una limitante del rendimiento en ambos cultivos debido al nivel calificado como adecuado (Wolf 1985, Havlyn *et al.* 1999).

El manganeso presentó valores adecuados para ambos sistemas (Vázquez 1996), y en el caso específico del maíz, aunque hubo un salvo el incremento que se observa en el estrato E1 (Figura 10), el análisis señala que el manganeso del suelo no fue afectado por el tiempo de uso (Cuadro 7), a la vez que en los estratos de tiempo E2 a E6 del sistema de maíz y E1 a E5 del sistema de mango, los valores fueron similares al del sistema de vegetación natural. En el sistema de mango, el análisis señaló que hubo una disminución con el tiempo de uso, de 210 y 226 mg/kg en los estratos de 1 a 15 años (E1 y E3), hasta a 91 mg/kg en el estrato de 26-30 años (E6), a la vez que en el sistema de vegetación natural, su valor fue de 150 mg/kg.

El cobre también presentó valores adecuados en ambos sistemas de cultivo (Salgado *et al.* 1999); pero mientras que en el sistema de maíz aumentó ligeramente con el tiempo de uso a partir del estrato de 11-15 años (E3), más allá del valor observado en la vegetación natural, en el mango disminuyó a partir de este mismo estrato (E3), tendiendo a adoptar un valor similar al de vegetación natural (Figura 11).

El zinc en el sistema de maíz presentó valores adecuados (Vázquez 1996), similares al del sistema de vegetación natural, disminuyendo ligeramente con el tiempo de uso, excepto en el estrato de 21-25 años (E5) (Figura 12). En el sistema de mango el zinc presentó un valor marginal en el estrato de uno a cinco años y

en la vegetación natural, inferior a 1,05 mg/kg, siendo adecuado en los estratos E2 a E6 (Vázquez 1996). No obstante, a partir del estrato de 11-15 años (E3) el contenido de zinc comenzó a disminuir, hasta coincidir con el límite entre los niveles marginal y adecuado.

DISCUSIÓN

El descenso en el pH, en el sistema de maíz estuvo relacionado por la disminución del calcio y el potasio en el tiempo, lo cual es característico en los suelos tropicales con cultivo anual a través de los años de uso, y se debe a la extracción ocasionada por el cultivo, aunada al proceso constante de lixiviación de bases a que están sometidos los suelos de esta región, por estar ubicada dentro de un clima tropical; resultados similares han sido reportados por Rasmussen (1999), en experimentos con 18 años de uso del suelo bajo labranza tradicional, y Armida *et al.* (2005) al evaluar 30 años de uso en Vertisoles. El incremento del pH en el tiempo, en el sistema de mango, se asoció con un aumento del calcio, debido a esto, quizás a la adición de calcio a través del agua de riego y la acumulación de follaje muerto en la superficie del suelo, proveniente de los árboles. Los valores de pH observados en ambos sistemas no indicaron problemas de disponibilidad de nutrientes. El pH óptimo para el maíz suele estar entre 5,5 y 7,0 (Havlyn *et al.* 1999), y para el mango entre 5,5 y 7,0 (USAID 2007). No obstante, el hierro pudiese estar afectado, ya que su máxima disponibilidad suele darse a valores de pH entre 4,0 y 6,0 (PPI 1997).

En relación con la disminución de la conductividad eléctrica del suelo en el sistema de maíz, ésta también se asoció con el descenso del contenido de calcio del suelo. Y en cuanto al sistema de mango, el menor valor de esta propiedad (0,05 dS/m) observado en el estrato de uno a cinco años (E1), resultó similar al valor del estrato de 21-25 años (E5) del sistema de maíz, lo que correspondió al tiempo de uso previo con maíz y otros cultivos señalado en el Cuadro 2; indica que el uso previo al establecimiento de los huertos de mango había ocasionado la disminución en la conductividad eléctrica del suelo, pero esto fue revertido posteriormente con la siembra del mango, según lo muestran los estratos E2 a E6. Lo anterior puede interpretarse como consecuencia de la aplicación de agua de riego al mango, que repuso el calcio que el suelo había perdido. Por otra parte, los incrementos del calcio y sodio

intercambiables explican el 43 % de la variación en la conductividad eléctrica, más no se observó efecto significativo de los demás cationes intercambiables.

En el sistema de maíz, la disminución en el contenido de materia orgánica es consecuencia de la descomposición de ésta, por efecto del laboreo del suelo (Sivakumar *et al.* 1982). Además en este sistema de producción no existió una práctica constante de incorporación de residuos; y al contrario, la quema del rastrojo y maleza parece ser una labor que se efectúa con más frecuencia. También se observó que en los primeros cinco años a partir del desmonte de la vegetación original hubo una pérdida acelerada de materia orgánica, ésta disminuyó un 0,9 %, contrastando con la disminución registrada durante los siguientes 25 años (1,1 %). Doran y Smith (1987) reportaron que la productividad de los suelos de regiones templadas acusó efectos negativos por la disminución del contenido de materia orgánica del suelo en un 40 a 60 %, traduciéndose en una baja en los rendimientos.

Parece necesario valorar el comportamiento de la materia orgánica en el tiempo con la finalidad de tomar medidas precautorias al respecto. Por otra parte, el contenido de materia orgánica es considerado rico aún a los 30 años de uso (E6), lo que señala que existió un ambiente favorable para la retención de humedad, la proliferación de la vida microbiana y condiciones favorables para el desempeño de los fertilizantes.

El sistema de mango permite la siembra de cultivos anuales intercalados y la consecuente labranza del suelo, e inclusive la “quema de residuos” durante los primeros años de establecida la plantación. Después de determinado tiempo el tamaño de los árboles lo impide, por lo que la materia orgánica derivada de la maleza y las hojas de los árboles de mango comienza a acumularse en el suelo ante la falta de laboreo, beneficiando al sistema en dos aspectos: a corto plazo la materia orgánica reciente es una fuente de nutrientes, y posteriormente se transforma en materia orgánica estable, que favorece el estado físico del suelo (Schlesinger 2000, Galvis 2000).

El incremento del fósforo en el sistema de maíz podría ser por efecto de la acumulación de fósforo en el suelo, con motivo de la inmovilización microbiana, adsorción por los óxidos de hierro y su posterior adhesión a las partículas de arcilla (Havlyn *et al.* 1999, Brady y Weil 1999), procesos que no permiten que todo el fósforo que se aplica al cultivo sea utilizado en el ciclo, y que aunados al fósforo que retorna al suelo con los residuos del cultivo dan origen a la acumulación de

este elemento a través del tiempo. Tampoco se puede descartar la posibilidad de que el cambio repentino en la tendencia del fósforo hacia un incremento pudiera ser consecuencia de la modificación de los hábitos de manejo del cultivo por los productores a partir de los últimos 15 años, incrementado posiblemente la fertilización fosfórica y con ello una más rápida acumulación en el suelo. El nivel bajo de fósforo en el mango parece corroborar el resultado de encuestas aplicadas a los productores, en las que se señala que no ha habido fertilización fosfórica en los últimos 15 años en las plantaciones de mayor edad, debido a ésto al decaimiento económico de esta actividad en el Estado de Campeche (información inédita); por lo que la producción ha continuado, a expensas del fósforo nativo del suelo y del proveniente de la fertilización de los primeros años.

En el maíz, la disminución del calcio a través del tiempo es consecuencia primeramente de la extracción del cultivo, y en segundo lugar por la lixiviación, lo que ha ocasionado un descenso en el pH. En el mango, el incremento del calcio influyó en la recuperación que se presentó en el pH del suelo, el cual había descendido a causa del cultivo previo. El incremento del calcio intercambiable en la capa superficial del suelo puede estar relacionado con las aportaciones que se hacen a través del agua de riego, y la acumulación de las hojas de los árboles de mango, con contenidos al menos adecuados de calcio, que pudiera también estar siendo extraído de capas más profundas del suelo.

La disminución del magnesio en los estratos E2, E3 y E4 del sistema de maíz, con respecto a E1 es explicada en gran parte por la extracción del cultivo, pero no se tiene una explicación al hecho de que el magnesio se haya incrementado en los estratos E5 y E6 con respecto a E2, E3 y E4. La disminución del magnesio intercambiable, en el cultivo de mango podría estar relacionada con la extracción que hace el cultivo en los estratos de mayor edad (16 a 30 años), y la ausencia de fertilización. En este caso, el magnesio intercambiable tuvo poca relación con los contenidos en el suelo observados en el cultivo previo de maíz bajo temporal. En el maíz, hay necesidad de probar la respuesta a las aplicaciones de magnesio en los estratos E2 a E5. Sin embargo, en el mango, hay suficiente magnesio en el suelo en los estratos E1 a E3, para cubrir las necesidades del cultivo, y podría haber necesidad de aplicar una dosis de mantenimiento, mientras que en los huertos de 16 años en adelante, cabría la necesidad de aplicar

magnesio, ya que el rendimiento potencial podría estar siendo afectado hasta en un 25 % (Wolf 1985).

Los valores altos de potasio, tanto en el sistema de maíz como en el sistema de mango, son similares a los encontrados por otros investigadores en suelos Luvisoles del estado de Yucatán (Borges *et al.* 2005); y de acuerdo con un modelo que incluye al tiempo de uso, el potasio intercambiable explica el 91 % de la variación del potasio soluble. Los altos contenidos de potasio que se obtuvieron en esta investigación indicaron que éste no es un nutrimento limitante del rendimiento del maíz y del mango en el estado de Campeche.

En el caso del maíz, el incremento del sodio, tanto como el potasio, a partir del estrato de 16 a 20 años (E4), no se tiene una explicación satisfactoria. En el mango, el incremento del sodio pudiera estar relacionado con el aporte que hace el agua de riego, y su disminución posterior, pudiera estar relacionada con una mayor extracción del cultivo con la edad.

El mayor contenido de hierro en el estrato de uno a cinco años (E1), en el sistema de maíz, se podría asociar con el desmonte y quema previos al establecimiento del cultivo y su liberación, a partir de una descomposición rápida de la materia orgánica; así mismo, su disminución en los estratos E2 a E4 podría deberse a la extracción por el cultivo, pero no se tiene una explicación para el incremento del hierro en los estratos E5 y E6. Por otra parte, el hierro fue afectado negativamente por el pH del suelo, al presentarse valores mayores de 6,0, sobre los cuales se considera que comienza a disminuir su solubilidad (PPI 1997), y un efecto positivo de la materia orgánica. Lo anterior podría explicar el incremento del hierro en el estrato E2 del sistema de mango, así como su posterior disminución.

Tanto en el maíz como en el mango, el manganeso fue afectado negativamente por el pH del suelo, especialmente a valores mayores de 6,5, que señalan el nivel de pH sobre el cual comienza a disminuir su disponibilidad, y por lo tanto, su aprovechamiento (PPI 1997). En el sistema de maíz, se cree que el mayor valor en el estrato de uno a cinco años (E1), podría asociarse con el desmonte y quema antes del establecimiento del cultivo, con lo cual este elemento es liberado a partir de la rápida descomposición de la materia orgánica del suelo. Aún con la disminución que se señaló, y que abarca los estratos E4 a E6, el nivel observado en este elemento, parece indicar que no existe necesidad de aplicación, dado que ese nivel

de manganeso resulta suficiente para el abastecimiento del cultivo dado el rendimiento actual (Wolf 1985). La disminución del manganeso con el tiempo podría estar relacionada con la extracción que hace el cultivo, especialmente a mayor edad y producción.

El cobre también presentó un efecto negativo del pH del suelo, mostrando éste un valor óptimo del orden de 6,5, que coincide con lo señalado para su máxima disponibilidad para los cultivos (PPI 1997), y un efecto positivo de la materia orgánica. El mayor contenido de cobre en el estrato de uno a cinco años (E1) del sistema de maíz se podría asociar con el desmonte y quema previos al establecimiento del cultivo y su liberación, a partir de la descomposición rápida de la materia orgánica; mientras que el incremento observado en el estrato E2 del sistema de mango, podría estar asociado con el aumento de 1,3 % registrado por la materia orgánica en ese estrato; y su posterior disminución, podría deberse a la extracción del cultivo. En el caso específico del mango, la disminución que ocurre desde E3 a E6, pudiera estar ligada también con una posible retención por el mayor contenido de materia orgánica del suelo (Domínguez 1989, Havlyn *et al.* 1999). Por lo anterior, pareciera ser que actualmente es poco probable encontrar una respuesta a la aplicación de cobre, dado que el nivel en que se encuentra en el suelo parece ser suficiente para sostener los rendimientos (Havlyn *et al.* 1999); no obstante, debido a su tendencia a disminuir, es necesario realizar el monitoreo de este elemento para evitar que llegue a descender a niveles que puedan perjudicar al rendimiento.

En el sistema de maíz, el zinc fue afectado positivamente por el pH del suelo, con un valor óptimo de 7,0, que se encuentra dentro del intervalo de máxima disponibilidad para este elemento (PPI 1997). Por lo anterior, parece no haber la necesidad de aplicar zinc en el sistema de maíz ya que el contenido en el suelo cubre las necesidades del cultivo; y en el mango, parece haber necesidad de aplicar zinc en los huertos que se ubican en el estrato de uno a cinco años (E1), donde se presentó el nivel más bajo, y realizar pruebas para corroborar la repuesta a la aplicación en los estratos de 21 a 30 años (E5 a E6).

CONCLUSIONES

Los cultivos de maíz y mango originaron cambios en las propiedades químicas del suelo a través del tiempo

de uso en los luvisoles del estado de Campeche. En maíz, se presentó una tendencia hacia la disminución del pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y calcio intercambiable, por lo que aún cuando sus niveles son todavía adecuados para la producción, esto podría marcar el inicio de una etapa de deterioro del suelo. En el mango, el pH, la conductividad eléctrica y la materia orgánica se incrementaron con el tiempo, y la tendencia hacia el deterioro del suelo se manifiesta en los cationes intercambiables, calcio, potasio, magnesio y sodio, que al igual que el manganeso presentaron una disminución, ya que llegaron a tener valores inferiores al del suelo encontrado en los sitios con vegetación natural.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, A; Etchevers, B; Castellanos, R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación Especial No. 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México. 217 p.
- Álvarez, R; Russu, ME; Prystups, P; Schneider, JD; Biotta, L. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine rolling pampa. *Agronomy Journal* 90:138-143.
- Anderson, JM; Ingram, JSI. 1996. Tropical soil biology and fertility. 2 ed. CAB International. Walingford. UK. 221 p.
- Astier, M; Maas, M; Etchevers, J. 2000. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5):605-620.
- Armida, AL; Espinoza, D; Palma, DJ; Galvis, A; Salgado, S. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana*. 23:545-551.
- Borges, GL; Bencomo, AE; Fregoso, MS; Villareal, YV C. 2005. Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 23:437-445.
- Brady, NC; Weil, RW. 1999. The nature and properties of soils. 12 ed. Prentice Hall. N.J. USA. 750 p.
- Claverán, AR; Fragoso, LE; Sánchez, CB. 2001. La labranza conservacionista en México. I. *In: World Congress on Conservation Agriculture*. Madrid, España.
- Cuanalo, De La CE; Ojeda, E; Santos, A; Ortiz, CA. 1989. Provincias, regiones y subregiones terrestres de México. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología. Chapingo, México. p. 40-60.

- Domínguez, VA. 1989. Tratado de fertilización. 2 ed. Edit. Mundi-prensa. Madrid. España. 595 p.
- Doran, JW; Smith, MS. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. *In: Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. SSSA. Publicación Especial No. 19, Mad. Wisconsin EUA. p. 53-72.*
- Dorransoro, C. 2006. Degradación del suelo. Consultado: 6 abril 2006. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema10/degra.htm>.
- Duch, GJ. 1995. Los suelos, la agricultura y la vegetación en Yucatán. p. 97-107. *In: La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional. Tomo 1. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Mex. 287 p.*
- Duch, GJ. 2005. Nomenclatura maya de suelos: una aproximación a su diversidad y significado en el sur de Yucatán. *In: Bautista ZF, Palacio, AG. eds. Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. p. 73-86.*
- Draper, RN; Smith, H. 1998. Applied regression analysis. Third edition. John Wiley & Sons, Inc. NY. EUA.
- Etchevers, BJ. 1999. Indicadores de la calidad del suelo. *In: Siebe C., H. Rodarte, G. Toledo, J. D. Etchevers y K. Oleschko (ed). Conservación y restauración de suelos. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. p. 239-262.*
- FAO-UNESCO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1970. Clave de unidades de suelos del mundo. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Agrología. México, D.F.
- FAO-UNESCO 1988. (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1988. Clave de unidades de suelos del mundo). Mapa mundial de suelo. Leyenda Revisada. Versión en Español. Preparada por T. Carballas, F. Macías, F. Días-Fierros, M. Carballas y J.A. Fernández Urrutia. Sociedad Española de la Ciencia del suelo. Roma, 1990. 142 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2006. Carta mundial de los suelos. Consultado: 20 junio 2006. Disponible en: http://agronomia.uchile.cl/webcursos/cmd/12003/Felipe%20Aburto/TECNOLOGIA%20DE%20SUELOS_%20Carta%20Mundial%20de%20los%20suelos.htm.
- Galvis, S. A. 2000. Propuesta para generar indicadores sobre la productividad de los suelos agrícolas. *In: R. Quintero-Lizaola, T. Reyna-Trujillo, L. Corlay Chee, A. Ibáñez-Huerta y N. E. García- Calderón. eds. La edafología y sus perspectivas al Siglo XXI. Tomo I. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 351-368.*
- Gandoy, BW; Campos, AC. 1992. Evolución de las propiedades de un *fragiusdalf* en 18 años de labranza, en el poblado de Limones, Cosautlán, Ver. *In: Tovar, SJL; Quintero, R. eds. La investigación edafológica en México 1991-1992. SMCS. Acapulco, Gro. México.*
- Havlyn, JL; Beaton, JD; Tisdale, SL; Nelson, WL. 1999. Soil fertility and fertilizers. 6 ed. Prentice Hall. NJ, USA. 487 p.
- Hernández, XE; Bello, E; Levy, YS. 1995. Aspectos ecológicos de Yucatán. *In: La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, Mex. p. 63-86.*
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2002. Información estadística y geográfica de la República Mexicana. México. Consultado: 16 mayo 2002. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>.
- Ku, NR; Tucuch, MF; Estrada, JD; Palacios, A; Rodríguez, JH; Díaz, G. 2005. Áreas con potencial productivo para el cultivo de maíz en el estado de Campeche. Folleto Técnico s/n. C.E. Edzná. CIR-Sureste, INIFAP-SAGARPA. 28 p.
- Lal, R. 2000. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st Century. *Soil Sci. 165(3):191-207.*
- Leiva, FR. 1998. Sostenibilidad de sistemas agrícolas. *Agronomía Colombiana 15:181-193.*
- León, AR. 2003. Manual edafológico de campo. 2 ed. Textos Universitarios, Universidad Veracruzana. México. 205 p.
- Mariaca, MR. 1992. La fertilidad del suelo en la milpa bajo roza-tumba-quema en Yucatán. *In: Zizumbo, VD; CH Rasmussen; LM Arias R; S Terán C. eds. La modernización de la milpa en Yucatán: Utopía o realidad. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán. Mérida, Yuc. México.*
- Molina, NC; Cáceres, R. 1992. Análisis de las modificaciones en la composición catiónica producida por el desmonte y posterior cultivo en suelos loésicos de la provincia de Tucumán, Argentina. *In: J. L. Tovar Salinas y R. Quintero Lizaola (eds). Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México. p. 88.*
- Navar, J; Sinnott, TJ. 2000. Soil infiltration and land use in Linares, N. L. México. *Terra 18:255-262.*
- Papadakis, J. 1984. Fertilizantes. Edit. Albatros SACI. B.A. Argentina. 167 p.
- Palacios, PA; Ramírez, G. 1996. Los suelos de Campeche. Características y su importancia agropecuaria. *In: Memorias del primer simposium estatal sobre investigación*

- científica y desarrollo tecnológico. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, Camp. México p. 50-62.
- Palma, LDJ; Salgado, S; Triano, A. 2005. Diagnóstico de suelos para el mantenimiento de la fertilidad en áreas tropicales. *In*: Bautista, ZF; Palacio, AG. eds. Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Campeche. p. 173-183.
- PPI, 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. 1a. impresión en español. Instituto de la potasa y el fósforo. 655 Engineering Drive. Suite 110. Norcross. GA. 30092-2837 USA.
- PPP. 2002. Documento base para la elaboración del Plan Puebla Panamá. Consultado: 29 mayo 2002. Disponible en: http://ppp.presidencia.gob.mx/PPP/docs/documentos/pdf/d-informe:ppp02_02.pdf.
- Pool, NL. 1980. Seminario sobre la producción agrícola en Yucatán. *In*: Estudio de los suelos calcimórficos con relación a la producción maicera. Gobierno del Estado de Yucatán. Secretaría de Programación y Presupuesto. Colegio de Postgraduados, Chapingo. SRH. México. México. 32 p.
- Pool, NL; Hernández, XE. 1995. Los contenidos de materia orgánica de los suelos en áreas bajo el sistema agrícola de roza-tumba-quema: Importancia del muestreo. *In*: La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional. Tomo 1. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. México. 287 p.
- Rasmussen, K. J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53:3-14.
- Rodríguez, FH; Rodríguez, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Edit. Trillas S.A. 187 p.
- Ruiz, FF. 1995. Estrategias en la planeación de los recursos del suelo para una agricultura sostenible. *In*: Manejo de suelos arcillosos para una agricultura sustentable. Universidad Autónoma Chapingo, México. Méx. p. 25-33.
- Sá, ME; Costa Da S, A; Lemos, M; Ferreira, MP. 2001. Carbono orgánico extraído por soluciones salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. *Agrociencia* 35:397-406.
- Santos, OA. 1984. Inventario de las áreas erosionadas en el Estado de Campeche. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. SARH. Campeche. México. 147 p.
- Salgado, GS; Palma, DJ; Cisneros, J. 1999. Manual de procedimientos para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación en cultivos tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Tab. México. 71 p.
- Schlesinger, W. H. 2000. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82:121-121.
- SEMARNAP-Yucatán. 1999. Síntesis del inventario de suelos del estado de Yucatán. Comisión Nacional del Agua. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos naturales y Pesca. México. 242 p.
- Sivakumar, MVK; Manu, A; Virmani, SM; Kanemasu, ET. 1992. Relation between climate and soil productivity in the tropics. *In*: Myths and science of the tropics. Soil Science Society of América (SSSA) Special Publication Number 29. p. 92-120.
- Stocking, M; Murnaghan, N. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Ediciones Mundiprensa. México. 123 p.
- Sustaíta, RF; Ordáz, V; Ortiz, C; De León, F. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia* 34:379-386.
- Tijerina, Ch. L. 2001. Evaluación del cambio de algunas propiedades del suelo derivadas del uso agrícola. *In*: Sánchez PS, V García M, E López A, S Carvajal H. eds. Indicadores de sustentabilidad. Universidad de Guadalajara. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C. Consejo Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Guadalajara, Jalisco. México. p. 83-113.
- USAID, 2007. United States Agency International Development. 2007. Manual para la producción de mango. 42 p. Consultado: 27 nov. 2009. Disponible: http://www.fintrac.com/docs/RED/USAID_RED_Manual_Produccion_Mango_FINAL.pdf.
- Valencia, ICE; Hernández, A. 2002. Muestreo de suelos preparación de muestras y guía de campo. Universidad Autónoma de México. México D.F. Méx. 111 p.
- Van Reeuwijk, LP. ed. 1999. Procedimientos para análisis de suelos. Traducido por Ma. Del Carmen Gutierrez Castorena, Carlos A. Tavarez Espinoza y Carlos A. Ortiz Solorio. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 145 p.
- Vázquez, AA. 1996. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. 2 ed. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 30 p.
- Villafuerte, D; García, M. 2002. Ganadería y reforestación en el trópico mexicano. Consultado: 20 julio 2002. Disponible en: <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/97/1097selva6.html>
- Volke, H. V. 2000. Investigación y educación superior para una agricultura sostenible. *In*: R. Quintero-Lizaola,

- T. Reyna-Trujillo, L. Corlay Chee, A. Ibáñez-Huerta y N. E. García- Calderón. eds. La edafología y sus perspectivas al Siglo XXI. Tomo II. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 792-805.
- Volke, HV; Turrent F, A; Castillo M, A. 2005. Diseños de tratamientos y estimación de respuesta en la investigación agrícola. Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 68 p.
- Wilding, LP; Oleschko, K. 1994. Micromorphological indicators of antropogenic effects on soils. 15 th World Congress of soil science 6:205-223.
- Wolf, B. 1985. Fluid fertilizer manual Vol. 1. National Fertilizer Solutions Association. 8823 North Industrial Road, Peoria, Illinois. USA. p. 21-28.
- Wolf, B. 1999. The fertile triangle. Food product press. The Haworth Press Inc. New York. USA. 453 p.
- 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. México. 43 p.
- Zueng-Sang, CH. 1999. Selecting indicators to evaluate soil quality. Food and Fertilizer Technology Center. Department of Agricultural Chemistry. Taipei. National Taiwan University. Taiwan. 18 p.

