

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, Hopelchén 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)	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.

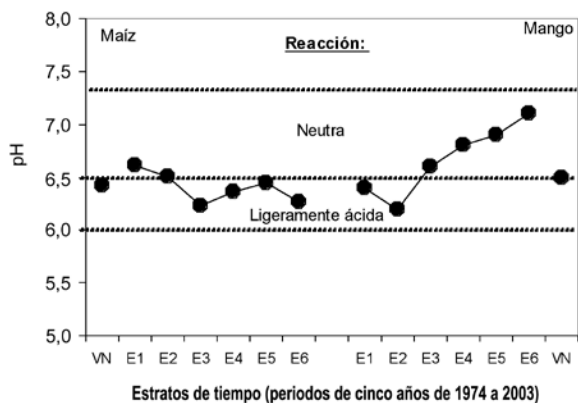


Figura 1. pH del suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural. Campeche, México.

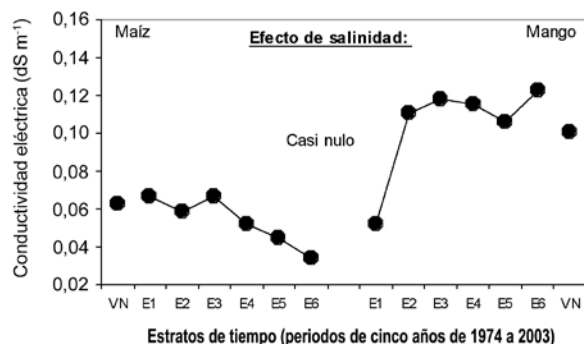


Figura 2. Conductividad eléctrica del suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango y su promedio en el sistema de vegetación natural. Campeche, México.

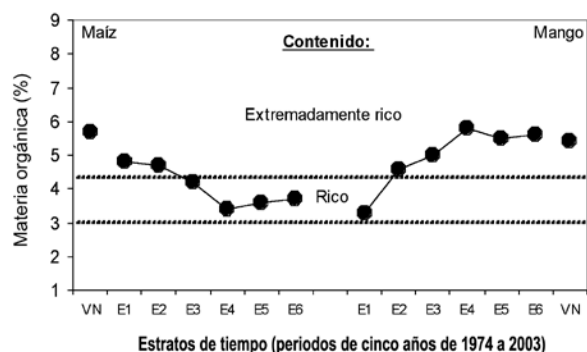


Figura 3. Contenido de materia orgánica del suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

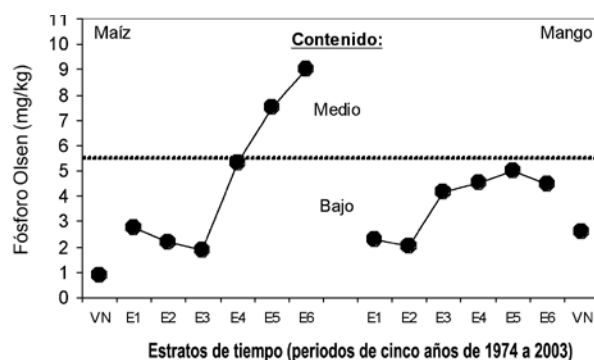


Figura 4. Contenido de fósforo en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

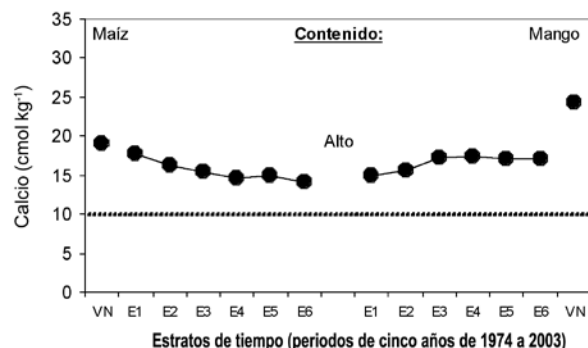


Figura 5. Contenido de calcio intercambiable de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

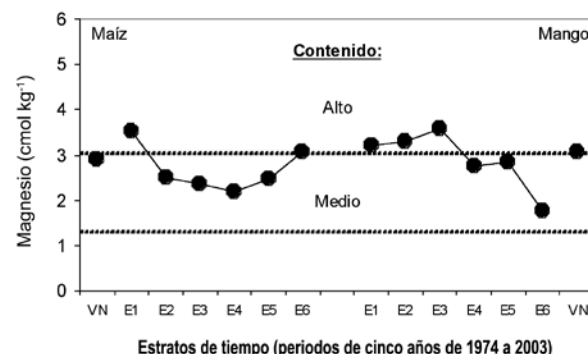


Figura 6. Contenido de magnesio intercambiable en el suelo de 1974 al 2003 en los cultivos de maíz y mango, y su promedio en el sistema de vegetación natural (VN). Campeche, México.

