

Nota técnica

Incremento de la materia orgánica del suelo y rendimiento de mango en Luvisoles, Campeche, México¹

Soil organic matter increase and fruit yield of mango trees in Luvisols of Campeche, México

Juan Medina-Méndez², Víctor Volke-Haller³, Arturo Galvis-Spínola³, José Isabel Cortés-Flores³,
Ma. de Jesús Santiago-Cruz³

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del incremento de la materia orgánica del suelo sobre el rendimiento de mango en condiciones de riego, en Luvisoles del Estado de Campeche, México. En 48 huertos comerciales de mango con distintos periodos de uso del suelo y cinco sitios de vegetación de bosque natural, se muestreó el suelo para determinar propiedades físicas y químicas. Además, se realizó un muestreo de hojas y se tomó información sobre manejo del sistema y rendimiento del cultivo. La información se analizó mediante regresión. A partir del contenido de materia orgánica del suelo derivado de un uso continuo de maíz de temporal u hortalizas con riego como punto de referencia, el sistema del cultivo de mango con riego aumentó el contenido de materia orgánica de 3,26% en el periodo de 1 a 5 años a 5,66% en el periodo de 16 a 30 años, con un valor de 5,36% en el sistema de vegetación de bosque natural. El incremento de la materia orgánica del suelo en conjunto con la edad de los árboles aumentó el rendimiento de mango en 9,5 t/ha después de 26 a 30 años de cultivo.

Palabras clave: propiedades del suelo, sistemas agrícolas, vegetación natural de bosque, *Mangifera indica* L.

Abstract

The objective of this study was to determinate the effect of increasing soil organic matter on fruit yield of mango trees under irrigated conditions, in Luvisols of Campeche State, Mexico. In every 48 commercial orchards and five sites under natural forest vegetation, soil samples were taken in order to determine physical and chemical properties. Furthermore, in orchards sites, leaf sampling was carried out, and data on orchard management practices and fruit yield also were registered. The collected data was analyzed using regression analysis. From soil organic matter content in continues sole maize cropping system under rainfed agriculture or irrigated vegetables, soil organic matter content in mango orchards increased from 3.26% in a period since 1 to 5 years to 5.66% after a period of 16 to 30 years. In soil under natural forest vegetation, organic matter content was 5.36%. Increasing soil organic matter content and tree age, fruit yield increased by 9.5 t/ha after 26 to 30 years under cultivation.

Keywords: soil properties, agricultural systems, natural forest vegetation, *Mangifera indica* L.

¹ Recibido: 3 de diciembre, 2015. Aceptado: 16 de julio, 2016. Este trabajo formó parte de la tesis de doctorado del primer autor, realizada con financiamiento del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Edzná. km 15.5 Carretera Campeche-Pcyaxún, Campeche, Camp., México. C.P. 24250. anmara1954@gmail.com (autor para correspondencia).

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230. vvolke@colpos.mx, galvis@colpos.mx, jicortes@colpos.mx, ecomjse@colpos.mx



Introducción

La materia orgánica es un componente fundamental en los procesos edáficos y tiene un efecto positivo en la productividad de los sistemas agrícolas (Raison y Rab, 2001). Por su efecto cementante sobre las partículas propicia la formación de agregados y mejora la estructura del suelo, lo que incrementa los flujos de agua, aire y calor (Oades, 1993; Lao et al., 2004; Alvarado-Fuentes et al., 2009), y en su proceso de descomposición y mineralización, aporta elementos nutritivos para las plantas (Scoones y Toulmin, 1998), incrementa la capacidad de intercambio de cationes del suelo, con lo que disminuyen las pérdidas de elementos nutritivos por lixiviación (Smettem et al., 1992); y protege a algunos elementos nutritivos en contra de su fijación por la arcilla del suelo (Castellanos et al., 2000).

El contenido de materia orgánica en suelos agrícolas es el resultado del balance entre las adiciones de residuos orgánicos y su tasa de mineralización (Volke-Haller et al., 1993; Galvis-Spínola, 2000), el que es afectado por las condiciones de temperatura y humedad del medio, pH, contenido de elementos nutritivos, tipo y cantidad de coloides, condiciones de aireación del suelo y la composición de los residuos orgánicos (Strahm y Harrison, 2008). El cambio de sistemas de cultivos anuales a perennes, suele ocasionar un aumento de la materia orgánica por el incremento en el depósito de materiales orgánicos, a través de la incorporación de la hojarasca, ramas y raíces finas (Cusack et al., 2009), y la menor remoción del suelo (McFarlane et al., 2009), así como por el efecto de la protección física que ejerce la matriz arcillosa del suelo contra la acción de los microorganismos (Six et al., 2002a; b).

En el Estado de Campeche existe una superficie de alrededor de 270 000 ha de suelos Luvisoles (Ku-Naal et al., 2005), que se dedican al cultivo de maíz y praderas de especies naturales e introducidas, fundamentalmente de temporal (INEGI, 2002), así como a cultivos de hortalizas y frutales en los suelos con riego, que ocupan aproximadamente 24 000 ha (INEGI, 2004). Entre los frutales con riego se encuentra el mango, con una superficie de 2540 ha, de las cuales 67% son de riego y se ubican principalmente en suelos Luvisoles (INEGI, 2016).

Los Luvisoles presentan características físicas favorables, lo que conjuntamente con precipitaciones anuales de hasta 1200 mm y dado el caso con disponibilidad de riego, les confieren gran potencial agrícola. Sin embargo, el cultivo del maíz de temporal y de hortalizas con riego, se ha realizado de manera intensiva y mecanizada, lo que ha originado un deterioro del suelo por compactación, pérdida de materia orgánica y fertilidad en general, situación que trae como consecuencia una disminución de la productividad (Aguilar-Castillo y Gallegos-Méndez, 1993; Medina-Méndez et al., 2006).

En Luvisoles de Campeche se ha encontrado una disminución del contenido de materia orgánica en los primeros 20 cm, de 5,7%, en el sistema de vegetación de bosque natural a 3,4 a 3,7% después de dieciséis o más años de cultivo continuo con maíz (Medina-Méndez et al., 2006). Por otra parte, se han reportado valores de 2,1% de materia orgánica en un Luvisol con aproximadamente cuarenta años bajo cultivo (Turrent-Fernández et al., 2004).

Los productores de mango en el Estado de Campeche han establecido sus huertos después de que el suelo estuvo ocupado con maíz de temporal y hortalizas con riego, por un número variable de años, cuando el suelo ya había disminuido su contenido de materia orgánica. A diferencia de lo que ocurre con maíz, Medina-Méndez et al. (2006) encontraron que el cultivo de mango puede incrementar el contenido de materia orgánica del suelo, hasta alcanzar valores de 5,55 a 5,82% en un periodo de entre 16 y 20 años, similares a los de un sistema de vegetación de bosque natural, de 5,36%.

A partir de los resultados obtenidos por Medina-Méndez et al. (2006), se planteó como objetivo del presente trabajo determinar el efecto del incremento del contenido de materia orgánica del suelo sobre el rendimiento de mango en condiciones de riego, en Luvisoles del Estado de Campeche, México.

Materiales y métodos

La región en estudio se ubica en la zona norte del estado de Campeche, entre 19° 57' 12" y 20° 09' 04" norte y 87° 59' 50" y 90° 04' 58" oeste. Los suelos predominantes son Luvisoles, que se caracterizan por presentar un relieve plano y pendientes menores de 1,5%, color negro rojizo (10R 2,5/1) a rojo oscuro (10R 3/2), profundidades mayores de 1,0 m, textura arcillosa (>60% de arcilla), drenaje interno muy eficiente, pH entre 6,8 y 7,2, y contenidos de materia orgánica alrededor de 2,8% en suelos cultivados y hasta 9,0% en suelos con vegetación arbórea natural (Medina-Méndez et al., 2006). El clima es AW₁, que corresponde a un cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación anual entre 900 y 1200 mm, de los cuales 85% ocurre entre mayo y octubre, y temperatura media anual de 25,5 a 26,4 °C (Cuanalo-de-la-C. et al., 1989; Ku-Naal et al., 2005).

La variedad de mango predominante es Tommy Atkins; su período de floración va de diciembre a febrero y el de cosecha de abril a junio; su cultivo se desarrolla en un limitado nivel tecnológico en aspectos de control de plagas y patógenos, y de fertilización, poniéndose mayor énfasis en el control de malezas y el riego; el rendimiento medio es de alrededor de 12,0 t/ha, y el fruto no siempre es de la mejor calidad (tamaño y color) (INEGI, 2004; Tucuch-Cahuich et al., 2005).

En los municipios de Tenabo y Campeche se contactó a las autoridades ejidales de dependencias federales y estatales del sector agropecuario, así como de las asociaciones de productores, para obtener el listado de agricultores y el nombre de los jefes de grupos de trabajo que operaban en las comunidades, esto con el fin de captar la información en la zona sobre el año de establecimiento de los huertos de mango, la superficie plantada y la ubicación de las comunidades. A nivel de comunidad se dispuso de la información sobre el año en que se establecieron los huertos, pero al existir variación entre productores, se optó por asociar el año del establecimiento del huerto con periodos de tiempo de 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20, 21 a 25 y 26 a 30 años. En cada periodo se seleccionó una comunidad que cumpliera con los siguientes requisitos: a) Luvisol como suelo predominante; b) superficie mayor a 0,5 ha por huerto; c) variedad Tommy Atkins; y d) que ocho productores estuviesen de acuerdo con participar en el estudio, para contar con ocho repeticiones por periodo. Además, como referencia de la condición original, dentro de la región en estudio se ubicaron cinco sitios con vegetación de bosque natural.

Debido a que se trabajó en comunidades diferentes, según el periodo de establecimiento del huerto, en cada huerto se obtuvo información sobre la profundidad, pendiente y color del suelo, para corroborar si los suelos de las diferentes comunidades eran similares y se podían analizar en conjunto. Posteriormente se ubicaron cinco árboles distribuidos en cada huerto, uno en cada esquina y uno en el centro; de ellos se colectó una muestra compuesta de suelo a la profundidad de 20 cm, se tomaron cuatro submuestras por árbol en la parte media del radio de la copa del árbol, para determinar propiedades físicas y químicas del suelo (Salgado-García et al., 1999).

En las muestras de suelo se determinó el contenido de arena, limo y arcilla, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, cationes intercambiables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺), P y microelementos (Fe, Mn, Cu y Zn), con base en los métodos establecidos en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Las determinaciones físicas se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos y las determinaciones químicas en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos, del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Para explicar posibles efectos de la materia orgánica del suelo sobre la nutrición del cultivo y, consecuentemente, sobre el rendimiento, se tomaron muestras de hoja, al comienzo de la floración, en cuatro ramas con inflorescencia de la parte media del árbol y se consideró la tercera, cuarta y quinta hoja a partir del ápice (Salgado-García et al., 1999). En las muestras de hojas se determinaron las concentraciones de N, por el método de semimicro-Kjeldal, y de los elementos P, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn y B, por el método de digestión húmeda con mezcla ácida y medición con espectrofotómetro de emisión atómica con inducción acoplada con plasma (modelo Liberty, Series II

Secuencial, Alemania) (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999); los análisis se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

En cada huerto se obtuvo de los productores información del rendimiento de fruto y del manejo agronómico del huerto (arreglo espacial, riego, fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades), con el fin de observar si algún factor de manejo pudiese estar influyendo en el contenido de materia orgánica del suelo.

El contenido de materia orgánica del suelo en el sistema de mango con riego (SMR), y de sus posibles cambios, en relación con el sistema de vegetación de bosque natural (SVN), se determinaron en función del periodo de uso del suelo, y de propiedades físicas y químicas del mismo que pudiesen afectar la materia orgánica, y explicar posibles diferencias entre localidades, ajenas al periodo de uso, mediante regresión, siguiendo el procedimiento propuesto por Volke-Haller (2008) para información derivada del muestreo. Los periodos de tiempo de 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20, 21 a 25 y 26 a 30 años se codificaron con los valores medios de 2,5, 7,5, 12,5, 17,5, 22,5 y 27,5, respectivamente, a la vez que el SVN se codificó como 32,5, pues se consideró que podía tener el valor máximo de materia orgánica del suelo, según lo reportó Medina-Méndez et al. (2006). Adicionalmente, para el SVN se consideró una variable auxiliar, por si su contenido de materia orgánica no fuese explicado por el modelo (para el SVN, variable auxiliar = 1; para el SMR, variable auxiliar = 0).

El efecto de la materia orgánica del suelo sobre el rendimiento del cultivo se estudió mediante regresión, siguiendo el procedimiento propuesto por Volke-Haller (2008) para información de tipo no experimental, basado en un modelo del rendimiento en función de: 1) los periodos de tiempo, ya que ellos se asocian con la edad de los árboles y, por tanto, con una mayor producción; 2) la materia orgánica del suelo de los periodos de tiempo; y 3) los factores de suelo y manejo del cultivo, en interacción con los periodos de tiempo, que pudiesen causar cambios de la materia orgánica del suelo ajenos al tiempo. Los periodos de tiempo se expresaron según la codificación anterior, pero excluyendo al SVN.

En los casos que hubo efecto de la materia orgánica del suelo sobre el rendimiento del cultivo, se procedió a determinar si las concentraciones nutrimentales en la hoja de los árboles presentaron efecto sobre el rendimiento y, de ser así, si la materia orgánica tuvo efecto sobre las concentraciones nutrimentales. Para esto se siguió el mismo procedimiento de regresión indicado previamente, considerando un modelo para el rendimiento en función de las concentraciones nutrimentales y factores de suelo y manejo del cultivo, ya sea solos o en interacción con los periodos de tiempo, y un modelo de las concentraciones nutrimentales en función de la materia orgánica del suelo y factores de suelo y manejo del cultivo que pudiesen afectar su absorción.

Resultados y discusión

Los suelos de los distintos periodos de tiempo de uso presentaron profundidades mayores a 1,0 m, pendientes menores a 1,5%, colores en húmedo predominantes de 10R 2,5/1 a 10R 2,5/2 (Kolimorgan Corporation, 1975) y contenidos de arcilla de 63,9 a 70,8%, que corresponden a una textura arcillosa. Los valores de estas propiedades confirmaron que los suelos de los distintos periodos de tiempo eran homogéneos y, por tanto, podían ser estudiados en conjunto.

Contenido de materia orgánica del suelo

En el Cuadro 1 se presenta el contenido de materia orgánica del suelo a la profundidad de 0 a 20 cm, por periodo de uso del suelo, para los sistemas de mango con riego (SMR) y vegetación de bosque natural (SVN), considerado al final, puesto que el contenido de materia orgánica del SMR podía tender en el tiempo al del SVN.

Cuadro 1. Contenido medio de materia orgánica del suelo en distintos períodos de uso del suelo, en el sistema de mango con riego (SMR) y el sistema de vegetación de bosque natural (SVN). Campeche, México. 1974-2003.

Table 1. Mean content of soil organic matter in different periods of soil usage, in irrigated mango system and natural forest vegetation system (SVN). Campeche, Mexico. 1974-2003.

Sistema	Periodo de uso del suelo (años)	Materia orgánica del suelo (%)	Desviación estándar
SMR	1-5	3,26	±0,15
	6-10	4,57	±0,20
	11-15	5,01	±0,37
	16-20	5,82	±0,12
	21-25	5,60	±0,46
	26-30	5,55	±0,17
SVN	> 30	5,36	±0,22

La materia orgánica mostró un incremento a partir del periodo de 1 a 5 años, previo al cual existió maíz de temporal y hortalizas con riego, hasta el periodo de 16 a 30 años, en el cual se habría alcanzado un equilibrio de ella en el suelo hasta alcanzar el nivel del SVN. Esto indicó que la materia orgánica del suelo en el SMR alcanzó valores máximos y similares del SVN, entre los 16 y los 20 años.

El modelo de regresión para el contenido de materia orgánica del suelo, en función del periodo de uso del suelo y de propiedades físicas y químicas de este que pudiesen explicar las diferencias entre localidades, fue el siguiente:

$$M = -0,403 + 2,114 E^{0,5} - 0,215 E \quad (\text{Pr.F} = 0,0001, \text{CME} = 0,178, \text{R}^2 = 0,792)$$

donde: M= materia orgánica del suelo (%); E= variable codificada para los períodos de uso del suelo: 2,5= 1 a 5 años, 7,5= 6 a 10 años, 12,5= 11 a 15 años, 17,5= 16 a 20 años, 22,5= 21 a 25 años, 27,5= 26 a 30 años y 32,5=SVN.

El modelo de regresión indicó que el periodo de uso del suelo explicó el 79,2% de cambios del contenido de materia orgánica del suelo en el tiempo, a la vez que no detectó propiedades químicas y físicas del suelo que estuviesen asociadas con las diferencias de la propia materia orgánica entre las localidades, ajenas al período de uso de suelo.

En los sistemas de cultivos perennes suele ocurrir un incremento de los residuos orgánicos derivados de hojas y ramas de los árboles y malezas, que son depositadas en la superficie y se van incorporando al suelo (McFarlane et al., 2009), así como de las raíces de los árboles, y malezas (Cusack et al., 2009). Por otro lado, en estos sistemas también hubo menor, o de poca magnitud, remoción del suelo por laboreo mecánico, de tal modo que fue menor la aireación y, consecuentemente, la velocidad de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Six et al., 2000; Strahm y Harrison, 2008). Otra vía de incremento de la materia orgánica del suelo en los suelos arcillosos, se origina de la formación de complejos órgano-minerales y su protección física en el interior de los agregados del suelo, en contra de la acción de los microorganismos de este (Six et al., 2000; Six et al., 2002a; b).

En el SMR el contenido de la materia orgánica del suelo es afectado por la incorporación de residuos de malezas (tallos, hojas, raíces), y de hojas y raíces finas de los árboles, donde con la edad de los árboles, las primeras van disminuyendo debido al mayor sombreo y las segundas van aumentando. Por otro lado, si bien en los primeros

cinco a seis años del huerto muchos productores realizan labores mecánicas para controlar malezas, posteriormente, controlan las malezas con herbicidas y ya no remueven el suelo (Medina-Méndez et al., 2006).

A su vez, los altos contenidos de arcilla de los Luvisoles, entre 63 y 70% en los suelos muestreados, favorecen la formación de agregados de complejos órgano-minerales, más resistentes contra la acción de los microorganismos del suelo y, consecuentemente, la acumulación de materia orgánica en el mismo.

Efecto de la materia orgánica del suelo en el rendimiento

El modelo de regresión que se generó para determinar el efecto del incremento de la materia orgánica del suelo sobre el rendimiento de mango, consideró los factores de suelo y manejo del cultivo, y se planteó de manera conjunta entre los factores y la edad de los árboles, expresada por los periodos de uso del suelo, y fue el siguiente:

$$Y = 2,081 E^{0.5}(M-3)^2 - 1,12 E^{0.5}(M-3)^{2.5} + 2,215 E^{0.5}H - 0,660 E^{0.5}H^2 - 3,937 E^{0.5}R^{0.25} + 3,055 E^{0.5}R^{0.25} - 0,211 E^{0.5}R$$

(Pr.F= 0,001, CME= 6,046, R²= 0,884)

donde: Y= rendimiento de mango (t/ha); E= periodos de uso del suelo: 2,5= 1-5 años, 7,5= 6-10 años, 12,5= 11-15 años, 17,5= 16-20 años, 22,5= 21-25 años, 27,5= 26-30 años; M= materia orgánica del suelo (%); H= número de aplicaciones de herbicida durante el ciclo de producción (0-3), R= número de horas de riego durante el ciclo de producción (0-42 h).

El modelo de regresión indicó que los factores que afectaron el rendimiento de mango positivamente, junto con la edad de los árboles fueron: el contenido de materia orgánica del suelo, el número de aplicaciones de herbicidas y el número de horas de riego, todos positivamente, y explicaron el 88,4% de la variación de los rendimientos.

Con el modelo de regresión se calculó el efecto conjunto de la edad de los árboles (periodos de uso del suelo) y la materia orgánica del suelo, el control de malezas y el riego, sobre el rendimiento de mango, considerando para: 1) la edad y la materia orgánica del suelo, el valor medio de los periodos de uso del suelo; 2) el control de malezas, el valor óptimo igual a dos aplicaciones de herbicidas; y 3) el riego, los valores más frecuentes de horas de riego durante el ciclo de producción para cada periodo de uso del suelo.

El efecto conjunto de la edad de los árboles y la materia orgánica del suelo, sobre el rendimiento de mango entre los períodos de uso del suelo de 1 a 5 años y de 26 a 30 años fue de 9,5 t/ha/año. Por otra parte, el efecto conjunto de la edad de los árboles con los demás factores que quedaron incluidos en el modelo de regresión sobre el rendimiento de mango fue de 6,6 t ha/año para el control de malezas (dos controles) y de 4,1 t ha/año para el tiempo de riego (25 h en comparación con 12,5 h) (Cuadro 2).

El efecto favorable de la materia orgánica del suelo sobre el rendimiento de los cultivos se dio de diferentes maneras: por el aporte de elementos nutritivos que hace en su descomposición y mineralización debido a la acción de los microorganismos del suelo (Scoones y Toulmin, 1998); la protección que puede originar de algunos elementos nutritivos en contra de su fijación por la arcilla del suelo (Castellanos et al., 2000); el incremento de la capacidad de intercambio de cationes que causa y favorece la retención de cationes en contra de la lixiviación (Smettem et al., 1992); el efecto favorable sobre las propiedades físicas, como la agregación de las partículas y estructura y, consecuentemente, sobre los flujos de agua, aire y calor; y el desarrollo de la raíz de las plantas (Oades, 1993; Lao et al., 2004; Alvarado-Fuentes et al., 2009).

Los Luvisoles estudiados presentaron propiedades físicas adecuadas, de porosidad (61-62%) y drenaje interno (tasa de infiltración de 45 cm/ha a los 60 min en el período de cultivo de mango de uno a cinco años y de 65 cm/ha en el periodo de cultivo de 26 a 30 años) (Medina-Méndez et al., 2006), y en el presente caso, un efecto importante de la materia orgánica pudo ser el aporte de elementos nutritivos que hizo al cultivo de mango.

Cuadro 2. Efecto conjunto de la edad de los árboles y la materia orgánica del suelo, control de malezas y riego, en el rendimiento de mango. Campeche, México. 1974-2003.

Table 2. Global effect of tree age and soil organic matter, weed control and irrigation, on the yield of mango trees. Campeche, Mexico. 1974-2003.

Edad de los árboles (años)	Valor del factor y efecto conjunto con la edad de los árboles en el rendimiento					
	Materia orgánica del suelo		Control de malezas		Riego	
	(%)	(t/ha/año)	(núm.)	(t/ha/año)	(h) [†]	(t/ha/año)
1-5	3,26	0,161	2	2,830	12,5	1,203
6-10	4,57	4,526	2	4,902	12,5	2,084
11-15	5,01	6,928	2	6,329	25,0	4,231
16-20	5,82	6,342	2	7,448	12,5	3,183
21-25	5,60	8,525	2	8,491	15,0	4,359
26-30	5,55	9,664	2	9,387	25,0	6,275

[†] h= horas/h= hours.

Posible aporte de elementos nutritivos de la materia orgánica del suelo

Para estimar el posible aporte de elementos nutritivos por la materia orgánica del suelo al cultivo de mango, primero se determinó si existía relación entre el rendimiento y la concentración nutrimental en la planta. Al respecto, en el Cuadro 3 se presenta el modelo de regresión del rendimiento de mango en función de la concentración nutrimental en la hoja de los árboles, donde se indican solamente los términos correspondientes a los nutrientes en interacción con la edad de los árboles y su significancia, ya que otros factores que afectaron el rendimiento fueron: el número de horas de riego durante el ciclo del cultivo, la capacidad de campo del suelo y el control de malezas.

Para todos los nutrientes se observó efecto de la concentración en la hoja sobre el rendimiento de fruto, y el siguiente paso fue determinar si la materia orgánica presentó algún efecto sobre la concentración nutrimental en la hoja, de tal manera que su efecto sobre el rendimiento pudo deberse al aporte nutrimental que hace al cultivo. Excepto para N, la materia orgánica presentó un efecto positivo sobre la concentración en el árbol de todos los demás nutrientes (Cuadro 4). Por lo tanto, el efecto positivo de la materia orgánica sobre el rendimiento de fruto de mango, efectivamente pudo ser atribuido al aporte que hizo de nutrientes para la planta.

Este aporte de elementos nutritivos que puede hacer la materia orgánica del suelo tiene especial importancia en las condiciones de producción de mango en los Luvisoles del Estado de Campeche, ya que los productores no suelen fertilizar su cultivo.

También hubieron otros factores del suelo que afectaron la concentración nutrimental en la planta, como el pH, la arena y los contenidos nutrimentales, en la mayoría de los casos, ello concuerda con la literatura (Havlin et al., 1999; Castellanos et al., 2000). Se resalta el efecto negativo del Fe, Mn y Cu por contenidos altos en el suelo; en cambio, no se tiene una posible explicación para el efecto positivo del Na sobre la absorción de Ca y Zn, y negativo de la arena sobre la absorción de Mg.

Cuadro 3. Modelos de regresión para el rendimiento de mango en función de las concentraciones nutrimentales en la hoja y propiedades del suelo. Campeche, México. 1974-2003.

Table 3. Regression models for yield of mango trees as function of nutrient leaf content and soil properties. Campeche, México. 1974-2003.

Elemento nutritivo	Modelo de regresión [†]	R ²
Nitrógeno	$Y = \dots + 129,374F_n - 53,182F_n$ (p=0,0562, p=0,0495)	0,797
Fósforo	$Y = \dots + 39,450F_p E^{0,25}$ (p=0,0029)	0,750
Potasio	$Y = \dots + 15,950F_k E^{0,25} - 12,863F_k^2 E^{0,25}$ (p=0,0162, p=0,0843)	0,781
Calcio	$Y = \dots + 0,860F_{ca}^{1,5} E^{0,25}$ (p=0,0001)	0,801
Magnesio	$Y = \dots + 48,352F_{mg} E^{0,25} - 91,451F_{mg} E^{0,25}$ (p=0,0118, p=0,1364)	0,857
Hierro	$Y = \dots + 1,446Fe^{0,5} E^{0,25} - 0,0658Fe E^{0,25}$ (p=0,0321, p=0,1700)	0,804
Manganeso	$Y = \dots + 1,553F_{mn}^{0,05} E^{0,25} - 0,050F_{mn} E^{0,25}$ (p=0,0011, p=0,0080)	0,799
Cobre	$Y = \dots + 0,540F_{cu} E^{0,25}$ (p=0,0423)	0,719
Zinc	$Y = \dots + 3,379F_{zn}^{0,25} E^{0,25}$ (p=0,0001)	0,806
Boro	$Y = \dots + 0,102F_b E^{0,25} - 0,000349F_b^2 E^{0,25}$ (p=0,0502, p=0,1293)	0,795

[†]Y= rendimiento de fruto (t/ha); E= edad media de los árboles (2,5, 7,5, 12,5, 17,5, 22,5 y 27,5 años); Fp, Fk, Fca, Fmg, Ffe, Fmn, Fcu, Fzn y Fb= concentraciones de P (%), Ca (%), Mg (%), K (%), Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), Cu (mg/kg), Zn (mg/kg) y B (mg/kg) en hoja, respectivamente / Y= fruit yield (t/ha); E= average age of trees (2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5 and 27.5 years); Fp, Fk, Fca, Fmg, Ffe, Fmn, Fcu, Fzn and Fb= mineral nutrient concentrations in leaf of P (%), K (%), Ca (%), Mg (%), Fe (mg/kg), Mn (mg/kg), Cu (mg/kg), Zn (mg/kg) and B (mg/kg), respectively.

Cuadro 4. Efecto de la materia orgánica del suelo sobre la concentración de elementos nutritivos en la hoja de mango. Campeche, México. 1974-2003.

Table 4. Effect of soil organic matter on mineral nutrient concentrations of leaf in mango trees. Campeche, Mexico. 1974-2003.

Elemento nutritivo	Modelo de regresión [†]	R ²
Nitrógeno (%)	$C_n = 1,323 + 0,0470(H-5,9)^2 - 0,281Na$	0,408
Fósforo (%)	$C_p = 0,0677 + 0,00526(M-3)^2 + 0,000232P^2 - 0,00864Cu$	0,770
Potasio (%)	$C_k = 0,648 + 0,118(M-3) - 0,413Na - 0,00190Mn$	0,757
Calcio (%)	$C_{ca} = 1,198 + 2,326(m-3)^{0,5} - 0,750(M-3) + 0,0364Ca + 1,617Na - 0,000658Fe^2$	0,703
Magnesio (%)	$C_{mg} = 0,301 + 0,0104(M-3)^2 - 0,00393Ca - 0,115K^2 - 0,000283Mn - 0,000431A$	0,858
Hierro (mg/kg)	$C_{fe} = 72,201 + 10,518(M-3) - 6,642Mg - 0,0920Mn$	0,718
Manganeso (mg/kg)	$C_{mn} = 573,293 + 138,204(M-3) - 9,459(M-3)^3 - 35,971H - 8,755Ca - 4,629Fe$	0,804
Cobre (mg/kg)	$C_{cu} = 3,859 + 1,335(M-3) - 0,108(M-3)^3 - 0,0335P^2$	0,355
Zinc (mg/kg)	$C_{zn} = -5,310 + 14,021(M-3)^{0,25} - 0,770P + 14,984Na$	0,566
Boro (mg/kg)	$C_b = 83,600 + 6,348(M-3)^2 + 23,226(H-5,9)^2 - 2,260Mg^2$	0,853

[†]Cx.= concentración de elemento nutritivo en hoja; M= contenido de materia orgánica del suelo (%), H= pH del suelo; P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn y Cu= contenidos de elementos del suelo (mg/kg); A= arena del suelo (%). Los coeficientes de regresión del contenido de materia orgánica presentan niveles de significancia de 0,01, excepto para el término cúbico de Cu con 0,02 / Cx.= mineral nutrient concentration in leaf; M= organic matter content in soil (%); H= soil pH; P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, and Cu= mineral contents in soil (mg/kg); A= soil sand (%). The regression coefficients of organic matter have a significant level of 0.01, except for the cubic term of Cu that is equal to 0.02.

Literatura citada

- Aguilar-Castillo, G., y V. Gallegos-Méndez. 1993. Producción de maíz de temporal en los suelos mecanizables de la Península de Yucatán. Folleto Técnico 6. Centro de Investigación Regional del Sureste, INIFAP, Campeche, MEX.
- Alcántar-González, G., y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Chapingo, MEX.
- Alvarado-Fuentes, J., C. Cantero-Martínez, M.V. López, K. Paustian, K. Deneff, C.E. Stewart, and J.L. Arzu. 2009. Soil aggregation and soil organic carbon stabilization: effects of management in semiarid mediterranean agroecosystems. *Soil Sci. Soc. J.* 73:1519-1529.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno, y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo y aguas. 2^{da} ed. INCAPA, San Miguel de Allende, MEX.
- Cuanalo-de-la, H.E., E. Ojeda-Trejo, A. Santos-Ocampo, y C. Ortiz-Solorio. 1989. Provincias, regiones y subregiones terrestres de México. Colegio de Postgraduados, Montecillo, MEX.
- Cusack, D.F., W.W. Chou, W.H. Yang, M.E. Harmon, W.I. Silver, and The Lidet Team. 2009. Controls on long-term root and leaf litter decomposition in neotropical forest. *Global Change Biol.* 15:1339-1355.
- Galvis-Spínola, A. 2000. Propuesta para generar indicadores sobre la productividad de los suelos agrícolas. En: R. Quintero-Lizaola et al., editores, La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo I. CP-UNAM-UACH, Montecillo, MEX. p. 351-368.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. 6th ed. Prentice Hall, NJ, USA.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2002. Información estadística y geográfica de la República Mexicana. Campeche, MEX. <http://www.inegi.gob.mx>. (consultado 16 may. 2006).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2004. Información estadística y geográfica de la República Mexicana. Campeche, MEX. <http://www.inegi.gob.mx>. (consultado 30 jul. 2006).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Anuario estadístico y geográfico de Campeche. MEX. www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/CAM_ANUARIO-PDF15.PDF (consultado 30 jun. 2016)
- Kolimorgan Corporation. 1975. Soil color charts. Munsell Color Macbeth, Kolimorgan Corporation, MD, USA.
- Ku-Naal, R., M. Tucuch-Cauich, J.D. Estrada-Vivas, A. Palacios-Pérez, J.H. Rodríguez-Ávila, G. Díaz-Padilla, J.A. Sánchez-Bueno, y G. Ramírez-Jaramillo. 2005. Determinación de potencial productivo para el cultivo de maíz en el estado de Campeche. Centro de Investigación Regional del Sureste, INIFAP, Campeche, MEX.
- Lao, M., A. Paz, and H.M. Ben. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:935-942.
- McFarlane, K.J., S.H. Schoenholtz, and R.F. Powers. 2009. Plantation on management intensity affects belowground carbon and nitrogen storage in Northern California. *Soil Sci. J.* 73:1020-1032.
- Medina-Méndez, J., V. Volke-Haller, J. González-Ríos, A. Galvis-Spínola, M.J. Santiago-Cruz, y J. Cortés-Flores. 2006. Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en Luvisoles del Estado de Campeche. *Universidad y Ciencia* 22:176-186.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56:377-400.

- Raison, R.J., and M.A. Rab. 2001. Guiding concepts for the application of indicators to interpret change in soil properties and processes in forests. In: R.J. Raison et al., editors, *Criteria and indicators for sustainable forest management*. Vol. 7. CAB International and International Union of Forestry Research Organizations, Wallington, GBR. p. 215-258.
- Salgado-García, S., D.J. Palma-López, y J. Cisneros-Domínguez. 1999. *Manual de procedimientos para el muestreo de suelos, plantas y aguas, e interpretación en cultivos tropicales*. Colegio de Postgraduados, Villahermosa, MEX.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. NOM-021-RECNAT-2000: especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT, Diario Oficial (segunda sección), MEX.
- Six, J., E.T. Elliott, and K. Paustian. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32:2099-2103.
- Six, J., R.T. Conant, E.A. Paul, and K. Paustian. 2002a. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241:155-176.
- Six, J., C. Feller, K. Denef, S.M. Ogle, J.C. Sa, and A. Albrecht. 2002b. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie* 22:755-775. doi:10.1051/agro:2002043
- Scoones, I., and C. Toulmin. 1998. Soil nutrient balances: what use for policy? *Agric. Ecosyst. Environ.* 71:255-267.
- Smettem, K.R.J., S.A. Rovira, B.R. Wace, and A. Simon. 1992. Effect of tillage and crop rotation on the surface stability and chemical properties of a red-brown earth (Alfisol) under wheat. *Soil Till. Res.* 22:27-40.
- Strahm, B.D., and R.B. Harrison. 2008. Controls on the sorption, desorption and mineralization of low-molecular-weight organic acids in variable-change soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1653-1664.
- Tucuch-Cahuich, M., A. Palacios-Pérez, R. Ku-Naal, y C. Guzmán-Estrada. 2005. *Manejo del cultivo de mango en el estado de Campeche*. INIA, Campeche, MEX.
- Turrent-Fernández, A., R. Camas-Gómez, A. López-Luna, M. Cantú-Almaguer, J. Ramírez-Silva, J. Medina-Méndez, y A. Palafox-Caballero 2004. Producción de maíz bajo riego en el Sur-Sureste de México. I. Análisis agronómico. *Agric. Téc.* 30:153-167.
- Volke-Haller, V., J. Frausto-Reyes, y C. Merino-Bazán. 1993. La materia orgánica del suelo como función de factores físicos y el uso y manejo del suelo. *Terra* 11:85-91.
- Volke-Haller, V. 2008. Estimación de funciones de respuesta para información de tipo no experimental, mediante regresión. Colegio de Postgraduados, Montecillo, MEX.