

ESTADO NUTRIMENTAL Y PRODUCCIÓN DE FRUTO DE MANGO (*Mangifera indica* L.), CV. TOMMY ATKINS, EN SUELOS LUVISOLES DEL ESTADO DE CAMPECHE, MÉXICO

Juan Medina-Méndez¹; Victor Volke-Haller²; José Isabel Cortés-Flores²; Arturo Galvis-Spínola²; Jesús González-Ríos²; Ma. de Jesús Santiago-Cruz²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Edzná, Carretera Campeche-Pocuyaxum km 15.5, Campeche, Campeche. MÉXICO. C.P. 24520. Correo-e: jmedina@colpos.mx (*Autor para correspondencia).

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. MÉXICO. C.P. 56230.

RESUMEN

Se estudió el estado nutrimental en árboles de mango (*Mangifera indica* L.), en suelos Luvisoles del estado de Campeche, México, con fines de determinar posibles deficiencias y, en su caso, decidir acerca de la necesidad de realizar aplicaciones de fertilizantes. En huertos comerciales de mango se tomaron muestras de suelo, para determinar sus propiedades físicas y químicas, y de hoja, para especificar las concentraciones nutrimentales, a la vez que se obtuvo información sobre el manejo del huerto y del rendimiento de frutos. Se estimaron modelos de regresión del rendimiento como función de las concentraciones nutrimentales y propiedades físicas y químicas del suelo así como factores tecnológicos. Se establecieron los rangos de suficiencia nutrimental como expresión del estado nutrimental de los árboles. El rango de suficiencia adecuado fue, para N, de 0.90 a 1.35 %; P, de 0.07 a 0.11 %; K, de 0.5 a 0.8 %; Ca, de 3.5 a 3.75 %; Mg, de 0.16 a 0.25 %; Fe, de 75 a 140 mg·kg⁻¹; Mn, de 175 a 320 mg·kg⁻¹; Cu, de 6 a 9 mg·kg⁻¹; Zn, de 10 a 22 mg·kg⁻¹; y B de 85 a 210 mg·kg⁻¹. Con base en la distribución de los huertos en los rangos de suficiencia, se observó que hay huertos que requerirían aplicaciones de fertilizantes: P (48 %), K (52 %), Ca (62 %), Mg (56 %), Fe (73 %), Cu (65 %), y B (44 %). En cambio, las deficiencias son menores para Mn (17 %) y Zn (21 %), y no se observaron para N.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Concentraciones nutrimentales, rangos de suficiencia, propiedades del suelo, factores tecnológicos.

NUTRIENT STATUS AND FRUIT YIELD OF MANGO TREES (*Mangifera indica* L.), CV. TOMMY ATKINS, IN LUVISOLS SOILS IN CAMPECHE STATE, MEXICO

ABSTRACT

The nutrient status of mango trees (*Mangifera indica* L.) growing in Luvisol soils in Campeche, Mexico, was studied in order to identify possible deficiencies and, if necessary, decide on the need for fertilizer applications. Soil and leaf samples were collected in 48 commercial mango orchards to quantify physical and chemical properties and nutrient concentrations, respectively. Information on orchard management and fruit yield was also obtained. Regression models for predicting crop yield, based on leaf nutrient concentrations and physical and chemical soil properties, as well as technological factors, were estimated. Nutrient sufficiency ranges as an expression of the nutrient status of the trees were established. The adequate sufficiency ranges for the various nutrients were: for N, 0.90 to 1.35 %; P, 0.07 - 0.11 %; K, 0.5 - 0.8 %; Ca, 3.5 - 3.75 %; Mg, 0.16 - 0.25 %; Fe, 75 - 140 mg·kg⁻¹; Mn, 175 - 320 mg·kg⁻¹; Cu, 6 - 9 mg·kg⁻¹; Zn, 10 - 22 mg·kg⁻¹; and, B 85 - 210 mg·kg⁻¹. Based on the distribution of the orchards in the sufficiency ranges, it was observed that there are orchards that would require fertilizer applications: P (48 %), K (52 %), Ca (62 %), Mg (56 %), Fe (73 %), Cu (65 %) and B (44 %). By contrast, the deficiencies are lower for Mn (17 %) and Zn (21 %) and were not observed for N.

ADDITIONAL KEYWORDS: Nutrient concentrations, sufficiency ranges, soil properties, technological factors.

INTRODUCCIÓN

El estado nutrimental de los árboles frutales es importante tanto en la obtención de buenos rendimientos de fruto como en la calidad de éstos. El estado nutrimental está determinado por el aporte de nutrientes que genera el suelo y, cuando éste no es suficiente para satisfacer las necesidades del árbol, se opta por la aplicación de fertilizantes.

Para saber la cantidad de nutrientes que se deben aplicar como fertilizantes, existen diversos procedimientos. Uno de ellos recurre al análisis de suelo, que determina el aporte de un nutriente que genera el suelo para la planta. Otro utiliza la concentración del nutriente en la planta en algún órgano específico, como indicador de la cantidad absorbida del suelo. En ambos casos, los valores determinados deberán ser relacionados con el rendimiento, con el fin de determinar el momento y la dosis de fertilización, para alcanzar rendimientos y calidad del fruto adecuados (Etchevers y Padilla, 2007; Sánchez *et al.*, 2007).

En los árboles frutales, el análisis de suelo puede no ser un buen indicador del aporte que éste hace de un nutriente, debido a que su absorción depende no sólo de su contenido asimilable en el suelo, sino también de factores de suelo, clima y manejo del árbol, que pueden afectar la absorción (Bates, 1971; Mills *et al.*, 1996; Medeiros *et al.*, 2004; Hundal *et al.*, 2005).

Para el análisis de la planta, es la hoja el órgano que ha recibido mayor atención y su calibración ha sido realizada para el estado de floración del árbol (25 a 50 % de floración). Sin embargo, para posibles deficiencias nutrimentales de la planta previas a dicho estado, los contenidos nutrimentales del suelo y los síntomas visuales de deficiencias podrán ser considerados (Sánchez *et al.*, 2007).

La concentración nutrimental óptima en los árboles frutales depende de la especie, presenta variaciones según la variedad y el portainjerto, y puede ser modificada por las propiedades físicas y químicas del suelo, por la temperatura, humedad del clima y por el manejo del cultivo como el riego, el control de plagas, malezas y enfermedades (Young y Koo, 1969; Mills *et al.*, 1996; Hundal *et al.*, 2005; Singh y Singh, 2007).

Existen diversos métodos de interpretación del análisis foliar que lo asocian con el rendimiento óptimo a obtener. Uno de ellos es el Rango de Suficiencia, que divide la relación entre el rendimiento y la concentración nutrimental en hojas, en rangos como deficiente, bajo o marginal, adecuado o suficiente, alto, y excesivo o tóxico. El rango adecuado o suficiente indica los valores a los cuales se pueden obtener los rendimientos y calidad del fruto adecuados (Sánchez *et al.*, 2007).

En la región productora de mango del estado de Campeche, no se suele fertilizar el cultivo. Esto, considerando otros factores que afectan la productividad, permite determinar la relación entre las concentraciones nutrimentales y el ren-

INTRODUCTION

The nutrient status of fruit trees is important in obtaining both good fruit yields and quality. Nutrient status is determined by the nutrient supply generated by the soil and when this is inadequate to meet the needs of the tree, fertilizers are applied.

There are various methods to determine the amount of nutrients that should be applied as fertilizers. One of them uses soil analysis, which determines the contribution of a nutrient generated by the soil for the plant. Another uses the nutrient concentration in a specific organ in the plant as an indicator of the amount absorbed from the soil. In both cases, the determined values must be related to yield in order to determine the fertilizer time and dose to achieve adequate fruit yields and quality (Etchevers and Padilla, 2007; Sánchez *et al.*, 2007).

In fruit trees, soil analysis may not be a good indicator of the contribution made by a particular nutrient, since its absorption depends not only on its readily assimilated content in the soil, but also on soil, climate and tree management factors, which can affect uptake (Bates, 1971; Mills *et al.*, 1996; Medeiros *et al.*, 2004; Hundal *et al.*, 2005).

For plant analysis, the leaf is the organ that has received the most attention and its calibration has been performed for the flowering state of the tree (25 to 50 % flowering). However, for any possible nutrient deficiencies in the plant prior to that state, soil nutrient contents and visual deficiency symptoms may be considered (Sánchez *et al.*, 2007).

The optimum nutrient concentration in fruit trees depends on the species, varies depending on the variety and rootstock, and can be modified by the physical and chemical properties of the soil, environmental temperature and humidity and crop management practices such as irrigation and pest, weed and disease control (Young and Koo, 1969; Mills *et al.*, 1996; Hundal *et al.*, 2005; Singh and Singh, 2007).

There are various methods of interpreting foliar analysis which associate it with the optimum yield to obtain. One of them is the Sufficiency Range, which divides the relationship between yield and leaf nutrient concentration, in ranges such as deficient, low or marginal, adequate or sufficient, high, and excessive or toxic. The adequate or sufficient range indicates the values at which adequate fruit yields and quality can be obtained (Sánchez *et al.*, 2007).

In the mango-producing region of the state of Campeche, the crop is not usually fertilized. This, among other factors that affect productivity, allows determining the relationship between nutrient concentrations and current yield, with the adequate nutrient concentrations to obtain maximum yields.

dimiento actual con las concentraciones nutrimentales adecuadas para obtener los máximos rendimientos.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar la relación entre el estado nutrimental y la producción de fruto en mango (*Mangifera indica* L.), cv Tommy Atkins, en suelos Luvisoles del estado de Campeche, México, con la finalidad de determinar rangos de suficiencia así como posibles deficiencias nutrimentales, y, dado el caso, decidir sobre la necesidad de realizar aplicaciones de fertilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de riego en mango se realiza en el estado de Campeche en 2,824 ha (Anónimo, 2002b), principalmente en suelos Luvisoles (Ruíz, 1995; Ku y Rivera, 2005).

Los suelos Luvisoles se caracterizan por tener un relieve plano y pendientes menores de 1.5 %, profundidades mayores de 1.0 m, texturas arcillosas, usualmente con más de 60 % de arcilla, y buen drenaje interno (Medina-Méndez *et al.*, 2006).

El clima en la zona es AW₁, que corresponde a un cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación anual de 900 a 1,200 mm, de la cual el 85 % se distribuye entre los meses de mayo y octubre, y temperaturas medias anuales entre 25.5 y 26.4 °C (Medina-Méndez *et al.*, 2006).

La variedad de mango predominante es Tommy Atkins, cuyo periodo de floración es de diciembre a febrero y el de cosecha de abril a junio. Los rendimientos medios son de 12.0 t·ha⁻¹, con valores máximos de 20 t·ha⁻¹ (Anónimo, 2004; Tucuch *et al.*, 2005), y no suele observarse alternancia anual en la producción de fruto.

Se consideraron 48 huertos comerciales en suelos Luvisoles. Los árboles se clasificaron en intervalos de acuerdo a su edad: 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20, 21 a 25 y 26 a 30 años. En cada intervalo se seleccionaron al azar una o más localidades, incluyendo ocho huertos dentro de ellas.

Los huertos quedaron ubicados entre los 19° 43' 54" y 19° 55' 25" latitud norte, y entre los 90° 06' 46" y 90° 26' 04" longitud oeste. En el Cuadro 1 se presenta la información de la localidad, pozo de riego y número de huertos por intervalo de edad.

La superficie de los huertos varió entre 0.50 y 3.75 ha, y la distancia entre árboles fue de 12 m, lo que da una densidad de población de 64 árboles·ha⁻¹.

Los huertos tuvieron un manejo previo del suelo con maíz de temporal y hortalizas de riego. Este manejo disminuyó el contenido de materia orgánica del suelo, de tal manera que los huertos con menor edad y mayor tiempo bajo dicho manejo presentaban menores contenidos de materia orgánica (Medina-Méndez *et al.*, 2006).

The aim of this research was to study the relationship between nutrient status and fruit production in mango (*Mangifera indica* L.), cv Tommy Atkins, in Luvisol soils in the state of Campeche, Mexico, in order to determine sufficiency ranges and possible nutrient deficiencies, and, if necessary, decide on the need for fertilizer applications.

MATERIALS AND METHODS

Irrigation systems are used for growing mango in 2,824 ha in the state of Campeche (Anónimo, 2002b), mainly in Luvisol soils (Ruíz, 1995; Ku and Rivera, 2005).

Luvisols soils are characterized by having a flat relief and slopes under 1.5 %, depths greater than 1.0 m, clayey textures, usually with more than 60 % clay, and good internal drainage (Medina-Méndez *et al.*, 2006).

The climate in the area is AW₁, which is warm sub-humid with summer rains, with annual precipitation from 900 to 1,200 mm, of which 85 % occurs between May and October, and average annual temperatures between 25.5 and 26.4 °C (Medina-Méndez *et al.*, 2006).

The predominant mango variety is Tommy Atkins, whose flowering period is from December to February with the harvest being from April to June. Average yields are 12.0 t·ha⁻¹, with maximum values of 20 t·ha⁻¹ (Anónimo, 2004; Tucuch *et al.*, 2005), and annual alternating fruit production is usually not seen.

Forty-eight commercial orchards in Luvisol soils were considered. The trees were classified by age ranges: 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25 and 26-30 years. For each range, one or more locations, including eight orchards within them, were randomly selected.

The orchards were located between 19° 43' 54" and 19° 55' 25" north latitude, and between 90° 06' 46" and 90° 26' 04" west longitude. Table 1 presents information on the locality, irrigation well and number of orchards per age range.

The area of the orchards ranged between 0.50 and 3.75 ha, and the spacing between trees was 12 m, which gives a population density of 64 trees·ha⁻¹.

The orchards had a previous soil management regime with rain-fed maize and irrigated vegetables. This management reduced the organic matter content of the soil, so that the younger orchards with longer time under that management had lower organic matter content (Medina-Méndez *et al.*, 2006).

In each orchard, site (soil), production technology and fruit yield information was obtained, and soil and tree leaf samples were taken. At site level, soil depth, slope and color were recorded in order to verify the homogeneity of the soils of the different localities. Soil sampling was conducted in five

CUADRO 1. Localidad, pozo de riego y número de huertos por intervalo de edad.

TABLE 1. Locality, irrigation well and number of orchards per age range.

Intervalo de edad (años) / Age range (years)	Ubicación / Location		Número de huertos / Number of orchards
	Localidad / Locality	Pozo / Well	
1 – 5 ^z	Cayal	2	2
		3	1
		5	1
		8	1
	Cayal	sin riego / without irrigation	1
	E. Zapata	2	1
	Castamay	7	1
	Castamay	5	8
6-10	Castamay	6	8
11-15	Castamay	3	8
16-20 ^a	Tikinmul	2	1
21-25	Cayal	3	2
		3	2
	E. Zapata	4	1
		6	1
		5	8
26-30	Tinún	5	8

^zDos huertos no recibieron riego.^aTwo orchards received no irrigation.

En cada huerto se tomó información del sitio (suelo), de la tecnología de producción y del rendimiento de fruto, además se obtuvo una muestra de suelo y de hojas. A nivel de sitio, se midió la profundidad, pendiente y color del suelo, con fines de verificar la homogeneidad de los suelos de las diferentes localidades. El muestreo de suelos se realizó en cinco árboles distribuidos en el huerto, uno en cada esquina y uno en el centro, considerando cuatro submuestras por árbol, en la parte media del radio de copa (Salgado *et al.*, 1999), a una profundidad de 0 a 20 cm, considerando que a esa profundidad se encontraba la mayor cantidad de raíces.

En las muestras de suelo se determinaron propiedades físicas y químicas. Las físicas incluyeron arena, limo y arcilla (método de Boyoucos, con hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio como dispersantes), capacidad de campo (método de la olla de presión, a -0.033 MPa), punto de marchitez permanente (método de la membrana de presión, a -1.5 MPa). Las químicas incluyeron el pH (en relación suelo:agua de 1:2), conductividad eléctrica (en relación suelo:agua de 1:5); materia orgánica (método de digestión húmeda con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, y titulación con sulfato ferroso), cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ Na^+) (extracción con acetato de amonio 1 N

trees dispersed throughout the orchard, one at each corner and one in the center, taking four subsamples per tree in the middle of the crown radius (Salgado *et al.*, 1999), at a depth of 0 to 20 cm, considering that the greatest number of roots is found at this depth.

Physical and chemical properties of the soil samples were determined. The former included sand, silt and clay (Boyoucos method, with sodium hexametaphosphate and sodium carbonate as dispersants), field capacity (pressure plate method, at -0.033 MPa), and permanent wilting point (pressure membrane method, at -1.5 MPa). The latter included pH (1:2 soil:water ratio), electrical conductivity (1:5 soil:water ratio), organic matter (wet digestion method with potassium dichromate and sulfuric acid, and titration with ferrous sulfate), exchangeable cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ Na^+) (extraction with 1N ammonium acetate at pH 7.0, and determination: Ca and Mg by atomic absorption spectrometry, and K and Na by emission spectrophotometry), P Olsen (extraction with 0.5 M sodium bicarbonate at pH 8.5, and colorimetric determination with ammonium molybdate) and microelements (Fe, Mn, Cu, Zn) (0.005 M DTPA extraction at pH 7.3, and determination by atomic absorption spectrometry) (Anónimo, 2002a).

a pH 7.0, y determinación: el Ca y Mg por espectrometría de absorción atómica, y el K y Na por espectrofotometría de emisión); P Olsen (extracción con bicarbonato de sodio 0.5 M a pH 8.5, y determinación colorimétrica con molibdato de amonio) y microelementos (Fe, Mn, Cu, Zn) (extracción con DTPA 0.005 M a pH 7.3, y determinación por espectrometría de absorción atómica) (Anónimo, 2002a).

El muestreo de hojas se realizó en cinco árboles mismos en donde se realizó el muestreo de suelo, para lo cual, en cada árbol se seleccionaron cuatro inflorescencias de la parte media, hacia los cuatro puntos cardinales, cuando los frutos tenían de 0.5 a 1.0 cm de diámetro, y en ellas se muestrearon las hojas tercera, cuarta y quinta a partir de la base de la inflorescencia (Salgado *et al.*, 1999). En las muestras de hojas se determinó N (método semi-micro-Kjeldal, digestión con ácido sulfúrico, destilación mediante arrastre de vapor y titulación con ácido sulfúrico 0.005 N) y P, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu, Zn y B (digestión húmeda con mezcla triácida (H_2SO_4 , HNO_3 , HClO_4), y determinación por espectrofotometría de absorción atómica) (Alcántar y Sandoval, 1999).

La información tecnológica comprendió el riego (número de horas de riego durante el ciclo de producción), fertilización (fuente, oportunidad, cantidad), malezas (presencia y control), plagas y enfermedades (presencia y control), la que junto con el rendimiento, se obtuvo directamente de los productores.

La relación entre el rendimiento y las concentraciones nutrimentales en hoja y, dado el caso, de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como los factores tecnológicos que pudiesen afectar esta relación, se determinó mediante análisis de regresión, siguiendo el procedimiento propuesto por Volke (2008) para información de tipo no experimental, que consiste en especificar un modelo con una o pocas variables a partir de la relación gráfica entre el rendimiento y los factores en estudio, e ir incorporando variables al modelo con base en la relación gráfica entre los residuos y los factores aún no incluidos en el modelo que mostrasen alguna tendencia de respuesta, hasta obtener un modelo con menor cuadrado medio del error.

Se consideró la interacción entre las variables concentración nutrimental y la edad de los árboles (valor medio de los intervalos de edad), puesto que ambas tienen que ver con el rendimiento de fruto.

Con los modelos de regresión obtenidos se calcularon los rendimientos para las concentraciones nutrimentales en hoja, en el intervalo de valores observados de ellas, y a valores medios de los demás factores que quedasen incluidos en los modelos. Con base en el rendimiento máximo, se establecieron los rangos de suficiencia de las concentraciones nutrimentales, correspondientes a la escala que se muestra en el Cuadro 2. Para los rangos de suficiencia bajo y deficiente se considera que se requiere realizar aplicaciones de

Leaf sampling was conducted in the same five trees where soil sampling was performed. For this, four inflorescences were selected from the middle part of each tree, towards the four cardinal points, when the fruits were 0.5 to 1.0 cm in diameter, and in them the third, fourth and fifth leaves from the base of the inflorescence were sampled (Salgado *et al.*, 1999). In the leaf sampling, N (semi-micro Kjeldahl method, digestion with sulfuric acid, distillation by steam stripping and titration with 0.005 N sulfuric acid) and P, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu, Zn and B (wet digestion with triacid mixture (H_2SO_4 , HNO_3 , HClO_4), and determination by atomic absorption spectrophotometry) were determined (Alcántar and Sandoval, 1999).

Technological information on irrigation (number of watering hours during the production cycle), fertilization (source, opportunity, amount), weeds (presence and control) and pests and diseases (presence and control), together with yield, was obtained directly from the producers.

The relationship between yield and leaf nutrient concentrations and, as the case may be, physical and chemical soil properties and technological factors that may affect this relationship, was determined by regression analysis, following the procedure proposed by Volke (2008) for non-experimental information, which consists of specifying a model with one or a few variables from the graphical relationship between yield and the factors under study, and then incorporating variables to the model based on the graphical relationship between residues and factors not yet included in the model that would show a response trend, until obtaining a model with the lowest mean squared error.

The interaction between nutrient concentration variables and tree age (average value of the age ranges) was considered, since both have to do with fruit yield.

With the regression models obtained, yields for leaf nutrient concentrations, in the interval of their observed values, and mean values of the other factors that were included in the models, were calculated. Based on maximum yield, the sufficiency ranges of the nutrient concentrations, corresponding to the scale shown in Table 2, were established. For the low and deficient sufficiency ranges, fertilizer applications are considered necessary, although application rates will be subject to information from other producing regions.

RESULTS AND DISCUSSION

Soil properties

Soil depth in the orchards was greater than 1.0 m and slope was under 1.5 %, and as for the other physical properties considered, Table 3 shows their average values by tree age range.

These physical soil property values, as well as those for depth and slope, indicate a reasonable homogeneity of the

CUADRO 2. Rangos de suficiencia y porcentajes de rendimiento máximo correspondientes.

TABLE 2. Sufficiency ranges and corresponding percentages of maximum yield.

Rango de suficiencia / Sufficiency range	Porcentaje del rendimiento máximo / Percentage of maximum yield
Deficiente / Deficient	< 81
Bajo / Low	81-90
Adecuado / Adequate	91-100
Alto / High	90-81
Excesivo / Excessive	< 81

fertilizantes, aunque las cantidades a aplicar estarán sujetas a información procedente de otras regiones productoras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades del suelo

La profundidad del suelo fue mayor a 1.0 m y la pendiente menor a 1.5 %, y en cuanto a las demás propiedades físicas consideradas, en el Cuadro 3 se presentan sus valores medios por intervalo de edad de los árboles.

Estos valores de las propiedades físicas del suelo, así como de la profundidad y pendiente, indican homogeneidad del suelo en las distintas localidades, de tal modo que, podían analizarse de manera conjunta para todos los intervalos de edad de los árboles.

soils in the different localities, so that they could be analyzed jointly for all tree age ranges.

On the other hand, the relatively low useable moisture values (field capacity – permanent wilting point) for soils with high clay content are explained, in turn, by the predominance of Fe oxides in their clay fraction, which tend to have low field capacity and useable moisture values (Duch, 1995).

The mean values per tree age range indicate: increases in pH from 6.2 in the range of 6-10 years to 7.1 in the range of 26-30 years, with a value of 6.5 in the range of 1-5 years; low electrical conductivity values, from 0.05 to 0.12 dS·m⁻¹, and increases in organic matter from 3.3 % in the range of 1-5 years to 5.8 % in the range from 16-20 years, with almost constant values thereafter (Table 4).

Soil nutrient contents were classified according to the recommendation of Castellanos *et al.* (2000). Table 5 shows their distribution in the orchards, where all soils are poor in P, while the other nutrients have variable content. K is mainly medium (77.6 %) and moderately low (16.3 %); Ca, moderately high (73.5 %) and high (22.4 %); Mg, medium (91.8 %); Fe, moderately high (67.4 %) and high (30.6 %); Mn, very high (100 %); Cu, high (34.6 %) and very high (57.2 %); and Zn, moderately low (28.6 %), medium (44.9 %) and moderately high (14.3 %).

Leaf nutrient concentrations

Leaf nutrient concentrations were broadly classified according to the classification given by Mills *et al.* (1996), which is presented in Table 6 together with the distribution (expressed as a percentage) of the orchards in the classes. The

CUADRO 3. Valores medios de propiedades físicas del suelo, por intervalo de edad de los árboles.

TABLE 3. Mean values of physical soil properties, by tree age range.

Intervalo de edad (años) / Age range (years)	Arena (%) / Sand (%)	Limo (%) / Silt (%)	Arcilla (%) / Clay (%)	Textura / Texture	Color en húmedo / Wet color	Capacidad de campo (%, peso) / Field capacity (%, weight)	Punto de marchitez permanente (%, peso) / Permanent wilting point (%, weight)
1-5	13	16	71	arcilla / clay	10R 2.5/1–10R 2.5/2	30.6	22.8
6-10	15	18	67	arcilla / clay	10R 2.5/1–10R 2.5/2	30.8	23.9
11-15	15	21	64	arcilla / clay	10R 2.5/1–10R 2.5/2	32.4	22.6
16-20	15	21	64	arcilla / clay	10R 2.5/1–10R 2.5/2	30.6	22.0
21-25	11	23	66	arcilla / clay	10R 2.5/1–10R 3/2	32.3	22.4
26-30	9	25	66	arcilla / clay	10R 2.5/2	33.3	25.6

Por otra parte, los valores relativamente bajos de humedad aprovechable (capacidad de campo – punto de marchitez permanente) para suelos con altos contenidos de arcilla, tendrían su explicación en torno a que se trata de suelos con predominio de óxidos de Fe en su fracción arcillosa, que tienden a tener valores bajos de capacidad de campo y humedad aprovechable (Duch, 1995).

Los valores medios por intervalo de edad de los árboles indican: incrementos del pH de 6.2 en el intervalo de 6-10 años a 7.1 en el intervalo de 26-30 años, con un valor de 6.5 en el intervalo de 1-5 años; valores bajos de conductividad eléctrica, entre 0.05 y 0.12 dS·m⁻¹; e incrementos de la materia orgánica de 3.3 % en el intervalo de 1-5 años a 5.8 % en el intervalo de 16-20 años, con valores prácticamente constantes posteriormente (Cuadro 4).

mango orchards showed variable leaf nutrient concentrations. They were mainly adequate for N (93.8 %) and Ca (94.9 %), adequate and low for P (36.7 and 63.3 %), K (49.0 and 51.0 %) and Fe (58.3 and 41.7 %), adequate and predominantly low for Mg (20.4 and 79.6 %) and Cu (16.4 and 83.6 %), low for Zn (91.6%), and adequate and high for Mn (50.0 and 50.0 %) and B (79.6 and 20.4 %).

Palacios (1988) determined leaf nutrient concentrations in nine orchards in the same mango-producing area and reported the following concentrations: N, high (1.47-2.17 %) in nine orchards; P, low (0.04-0.06 %) in eight orchards and adequate (0.12 %) in one; K, adequate (0.59-1.01 %) in nine orchards; CA, low (1.00-1.74 %) in nine orchards; Mg, low (0.07-0.17 %) in nine orchards; Fe, low (56-68 mg·kg⁻¹) in two orchards and adequate (70-94 mg·kg⁻¹) in seven; MN, adequate (103

CUADRO 4. Valores medios de pH, conductividad eléctrica y materia orgánica del suelo, por intervalo de edad de los árboles.

TABLE 4. Mean values of soil pH, electrical conductivity and organic matter, by tree age range.

Intervalo de edad (años) / Age range (years)	pH	Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹) / Electrical conductivity (dS·m ⁻¹)	Materia orgánica (%) / Organic matter (%)
1-5	6.5	0.05	3.3
6-10	6.2	0.11	4.6
11-15	6.6	0.12	5.0
16-20	6.8	0.12	5.8
21-25	6.9	0.11	5.6
26-30	7.1	0.12	5.6

Los contenidos nutrimentales del suelo se clasificaron de acuerdo a la recomendación de Castellanos *et al.* (2000), en el Cuadro 5 se presenta su distribución en los huertos, en donde se resalta que todos los suelos son pobres en P, a la vez que los demás nutrientes presentan contenidos variables. Esto es de K, principalmente medios (77.6 %) y moderadamente bajos (16.3 %); Ca, moderadamente altos (73.5 %) y altos (22.4 %); Mg, medios (91.8 %); Fe, moderadamente altos (67.4 %) y altos (30.6 %); Mn, muy altos (100 %); Cu, altos (34.6 %) y muy altos (57.2 %); y, Zn, moderadamente bajos (28.6 %), medios (44.9 %) y moderadamente altos (14.3 %).

Concentraciones nutrimentales en hoja

Las concentraciones nutrimentales en hoja se clasificaron de manera general según la clasificación dada por Mills *et al.* (1996), lo que se presenta en el Cuadro 6 conjuntamente con la distribución (en porcentaje) de los huertos en las clases. Los huertos de mango mostraron concentraciones nutrimentales variables en hoja. Fueron principalmente adecuadas para N (93.8 %) y Ca (94.9 %), adecuadas y bajas para P (36.7 y 63.3 %), K (49.0 y 51.0 %) y Fe (58.3 y 41.7 %), adecuadas y predominio de bajas para Mg (20.4 y 79.6 %) y Cu (16.4 y 83.6 %), bajas para Zn (91.6 %), adecuadas y altas para Mn (50.0 y 50.0 %) y B (79.6 y 20.4 %).

mg·kg⁻¹) in one orchard and high (269-711 mg·kg⁻¹) in eight; CU, low (less than 1 mg·kg⁻¹) in seven orchards and high (22-33 mg·kg⁻¹) in two; and Zn, low (9-18 mg·kg⁻¹) in four orchards and adequate (24-29 mg·kg⁻¹) in five.

Although the two pieces of information come from different samples, adequate concentrations for N, adequate and high for Mn, a tendency to low concentrations for P, Mg, Cu and Zn, and adequate for Fe are observed.

Technological factors

The values of the technological factors considered are presented in Table 7. Irrigation was performed by 44 producers, with variable irrigation time depending on water availability; four did not water. Producers did not fertilize the crop, and three applied some amount of lime. Weed control was conducted with mechanical methods (harrowing) or herbicides, either alone or in combination, a variable number of times depending on the incidence of weeds during the production cycle; four producers performed no weed control. Disease control was carried out by nine producers, with one or two applications, while pest control was performed by 41 producers, in a variable number of applications and products.

CUADRO 5. Contenido nutricional del suelo, y su distribución en los huertos.
TABLE 5. Soil nutrient content and its distribution in the orchards.

Nutriente ² / Nutrient ²	Contenido ³ (Porcentaje de huertos) / Content ³ (Percentage of orchards)				
	Bajo / Low	Moderadamente bajo / Moderately low	Medio / Medium	Moderadamente alto / Moderately high	Alto / High
Fósforo Olsen (mg·kg ⁻¹) / Phosphorous Olsen (mg·kg ⁻¹)	<10 (100)	11-20 (0.0)	21-30 (0.0)	31-40 (0.0)	41-60 (0.0)
Potasio (mg·kg ⁻¹) ^x / Potassium (mg·kg ⁻¹) ^x	<150 (0.0)	150-250 (16.3)	251-500 (77.6)	501-1000 (6.1)	1001-1600
Calcio (mg·kg ⁻¹) ^x / Calcium (mg·kg ⁻¹) ^x	<175 (0.0)	175-250 (0.0)	251-450 (4.1)	451-800 (73.5)	801-1200 (22.4)
Magnesio (mg·kg ⁻¹) ^x / Magnesium (mg·kg ⁻¹) ^x	<1250 (0.0)	1250-2000 (0.0)	2001-4000 (91.8)	4001-6000 (8.2)	6001-8000 (0.0)
Hierro (mg·kg ⁻¹) / Iron (mg·kg ⁻¹)	<5 (0.0)	5-8 (0.0)	9-12 (2.0)	13-25 (67.4)	26-40 (30.6)
Manganeso (mg·kg ⁻¹) / Manganese (mg·kg ⁻¹)	<4 (0.0)	4-7 (0.0)	8-12 (0.0)	13-25 (0.0)	26-50 (0.0)
Cobre (mg·kg ⁻¹) / Copper (mg·kg ⁻¹)	<0.5 (0.0)	0.5-0.8 (0.0)	0.9-1.2 (0.0)	1.3-1.8 (8.2)	1.9-2.5 (34.6)
Zinc (mg·kg ⁻¹)	<0.7 (4.0)	0.7-1.2 (28.6)	1.3-2.5 (44.9)	2.6-5.0 (14.3)	5.1-8.0 (8.2)

²Para N no se determinó su contenido en el suelo.

³Clasificación según Castellanos *et al.*, 2000.

^xPara suelos de textura fina: arcilla, arcilla limosa, arcilla arenosa, limo.

²Soil N content was not determined.

³Classification according to Castellanos *et al.*, 2000.

^xFor fine-textured soils: clay, silty clay, sandy clay, silt.

CUADRO 6. Concentraciones nutrimentales en hoja, y su distribución en los huertos.

TABLE 6. Leaf nutrient concentrations and their distribution in the orchards.

Nutriente / Nutrient	Concentración (Porcentaje de huertos) ^a / Concentration (Percentage of orchards) ^a		
	baja / low	adecuada / adequate	alta / high
Nitrógeno (%) / Nitrogen (%)	< 1.0 (4.2)	1.0-1.5 (93.8)	> 1.5 (2.0)
Fósforo (%) / Phosphorous (%)	< 0.08 (63.3)	0.08-0.25 (36.7)	>0.25 (0.0)
Potasio (%) / Potassium (%)	< 0.4 (51.0)	0.4-0.9 (49.0)	>0.9 (0.0)
Calcio (%), suelo ácido / Calcium (%), acid soil	< 2.0 (4.1)	2.0-5.0 (94.9)	>5.0 (0.0)
Magnesio (%) / Magnesium (%)	< 0.2 (79.6)	0.2-0.5 (20.4)	> 0.5 (0.0)
Hierro (mg·kg ⁻¹) / Iron (mg·kg ⁻¹)	< 50 (41.7)	50-250 (58.3)	> 250 (0.0)
Manganeso (mg·kg ⁻¹) / Manganese (mg·kg ⁻¹)	< 50 (0.0)	50-250 (50.0)	> 250 (50.0)
Cobre (mg·kg ⁻¹) / Copper (mg·kg ⁻¹)	< 7 (83.6)	7-35 (16.4)	> 35 (0.0)
Zinc (mg·kg ⁻¹)	< 20 (91.6)	20-100 (8.4)	> 100 (0.0)
Boro (mg·kg ⁻¹) / Boron (mg·kg ⁻¹)	< 25 (0.0)	25-150 (79.6)	> 150 (20.4)

^aClasificación según Mills *et al.* (1996).^aClassification according to Mills *et al.* (1996).

Palacios (1988) determinó concentraciones nutrimentales en hojas para nueve huertos de la misma zona productora de mango, y reporta que las concentraciones fueron para N, altas (1.47-2.17 %) en los nueve huertos; P, bajas (0.04 a 0.06 %) en ocho huertos y adecuadas (0.12 %) en un huerto; K, adecuadas (0.59 a 1.01 %) en los nueve huertos; Ca, bajas (1.00 a 1.74 %) en los nueve huertos; Mg, bajas (0.07 a 0.17 %) en los nueve huertos; Fe, bajas (56 a 68 mg·kg⁻¹) en dos huertos y adecuadas (70 a 94 mg·kg⁻¹) en siete huertos; Mn, adecuadas (103 mg·kg⁻¹) en un huerto y altas (269 a 711 mg·kg⁻¹) en ocho huertos; Cu, bajas (menores a 1 mg·kg⁻¹) en siete huertos y altas (22 a 33 mg·kg⁻¹) en dos huertos; y, Zn bajas (9 a 18 mg·kg⁻¹) en cuatro huertos y adecuadas (24 a 29 mg·kg⁻¹) en cinco huertos.

Si bien ambas informaciones proceden de diferentes muestras, se observan concentraciones adecuadas para N, adecuadas y altas para Mn, una tendencia a concentraciones bajas para P, Mg, Cu y Zn, y adecuadas para Fe.

Factores tecnológicos

Los valores de los factores tecnológicos considerados se presentan en el Cuadro 7. El riego fue realizado por 44 productores, con tiempo de riego variable según la disponibilidad de agua; cuatro no regaron. Los productores no fertilizaron el cultivo, y tres aplicaron alguna cantidad de cal. El control de maleza se realizó mediante prácticas mecánicas (rastreo) o con herbicidas, ya sea solos o en combinación, en un número variable de veces dependiendo de su incidencia durante el ciclo de producción; cuatro productores no realizaron control de maleza. El control de enfermedades lo realizaron nueve productores, con una o dos aplicaciones; en tanto que el control de plagas fue realizado por 41 productores, en un número variable de aplicaciones y productos.

Fruit yield

Minimum, maximum and average fruit yield values per tree age range are shown in Table 8.

Average yields increase with tree age. The low values (minimum) observed in some orchards in two tree age ranges (16-20 and 21-25 years) are due to management constraints, especially related to weed control and irrigation hours.

Yield and leaf nutrient concentrations

The regression models obtained included nutrient concentrations and their interactions with tree age, soil moisture at field capacity, the number of irrigation hours and weed control with herbicides. By contrast, they did not include soil nutrient contents. Table 9 presents only the terms (in the regression models) of the nutrient content variables in interaction with tree age, indicating the significance of the coefficient and the value of the coefficient of multiple determination (R^2), in order to simplify the presentation of the models in the part relevant to the study objectives.

The fact that the models did not include soil nutrient contents means that they had no significant effect on yield, with at least leaf nutrient concentrations being present in the model. To corroborate this, a model with soil nutrient contents but without concentrations was calculated, with the result that, except for K, they showed no significant effect on yield.

For K, the model with soil nutrient concentrations resulted in a similar fit as the model with leaf nutrient concentrations, implying that soil analysis for this nutrient can indeed be a good indicator of its use by the plant.

CUADRO 7. Factores tecnológicos, número de productores que los usan y cantidad o veces de utilización.

TABLE 7. Technological factors, number of producers that use them and amount or times of use.

Factor	Número de productores / Number of producers	Cantidad o veces en el ciclo de producción / Amount or times in the production cycle
Riego / Irrigation:		
sin / without	4	-
con / with	44	3 a 40 h
Fertilización / Fertilization:		
sin / without	48	-
Encalado / Liming:		
sin / without	45	-
con / with	3	93 a 171 kg·ha ⁻¹
Control de malezas (método) / Weed control (method):		
sin control / without control	4	-
chapeo (solo) / manual weeding (alone)	4	1 vez / time
rastreo (solo) / harrowing (alone)	6	1 a 3 veces / times
herbicida (solo) / herbicide (alone)	14	1 a 3 veces / times
chapeo - herbicida / manual weeding – herbicide	12	1 – 1 a 2, veces / times
rastreo - herbicida / harrowing – herbicide	8	1 a 3 – 1 a 2, veces / times
Control de enfermedades / Disease control:		
sin / without	39	
con / with	9	1 a 2 veces / times
Control de plagas / Pest control :		
sin / without	7	
con / with	41	1 a 6 veces / times

Rendimiento de fruto

El rendimiento de fruto se presenta en sus valores mínimo, máximo y medio por intervalo de edad de los árboles en el Cuadro 8.

Los rendimientos medios presentan un incremento con la edad de los árboles. Los valores bajos (mínimos) observados en algunos huertos de intervalos de edad de los árboles (16-20 y 21-25 años) se deben a limitantes de manejo, especialmente relacionados con el control de maleza y horas de riego.

Rendimiento y concentraciones nutrimentales en hoja

Los modelos de regresión obtenidos incluyeron las concentraciones nutrimentales y sus interacciones con edad de los árboles, humedad del suelo a capacidad de campo, número de horas de riego y control de maleza con herbicidas. En cambio, no incluyeron los contenidos nutrimentales del suelo. En el Cuadro 9 se presentan sólo los términos (en los modelos de regresión) de la o las variables de las concen-

With the regression models obtained, fruit yields were calculated for leaf nutrient concentrations, in the interval of their observed values, tree age from 21-25 years (22.5 years on average), soil moisture at 32 % field capacity (by weight), 25 h of irrigation during the production cycle and with weed control with herbicides (equal to 1 for the variable), information which is presented in Table 10.

Except for Ca, all nutrients reached maximum yield, or a value close to it, within the interval of observed values for leaf nutrient concentrations, with yields ranging between 20.3 and 21.4 t·ha⁻¹, and reached 22.3 t·ha⁻¹ for Mg. For Ca, yield continued to increase after the maximum observed value of leaf nutrient concentration (3.75 %).

Based on the values of leaf nutrient concentrations as a function of yield, sufficiency ranges were established for nutrient concentrations, information which is presented in Table 11.

^zNC = Nutrient concentration

^wY = Fruit yield.

CUADRO 8. Valor mínimo, máximo y medio de rendimiento, por intervalo de edad de los árboles.

TABLE 8. Minimum, maximum and mean yield value per tree age range.

Intervalo de edad (años) / Age range (years)	Rendimiento (t·ha ⁻¹) / Yield (t·ha ⁻¹)		
	Mínimo / Minimum	Máximo / Maximum	Medio / Mean
1-5	810	5797	3676
6-10	5049	13149	7326
11-15	12600	21494	16075
16-20	6102	21428	14590
21-25	6322	32366	18227
26-30	16686	23338	20247

traciones nutrimentales en interacción con la edad de los árboles, indicando la significancia del coeficiente y el valor del coeficiente de determinación múltiple (R^2), con fines de simplificar la presentación de los modelos en su parte de interés para los objetivos del trabajo.

El hecho de que en los modelos no quedasen incluidos los contenidos nutrimentales del suelo, querría decir que éstos no presentaron efecto significativo sobre el rendimiento, al menos estando presente en el modelo la concentración nutricional de las hojas. Con fines de corroborar esto, se calculó un modelo con los contenidos nutrimentales del suelo en ausencia de las concentraciones nutrimentales en hoja, resultando que, excepto para K, no presentaron efecto significativo sobre el rendimiento.

Para el K, el modelo con los contenidos nutrimentales del suelo dio un ajuste similar que el modelo con las concentraciones nutrimentales en hoja, lo que implica que para este nutriente el análisis de suelo sí puede ser un buen indicador de su aprovechamiento por la planta.

It should be noted that high and excessive N concentrations caused yield decreases, which is consistent with results reported by several researchers for N concentrations greater than 1.35 % (Vega and Molina, 1999; Medeiros *et al.*, 2004). The Ca concentration had an adequate range; its lower limit, 3.4 %, was higher than the approximately 2.0 % indicated in the literature (Robinson, 1986; Mills *et al.*, 1996), while its upper limit is greater than 3.75 %, the maximum valued observed. The Mn concentration presented a lower limit of the adequate range higher than that usually indicated in the literature (Robinson, 1986; Mills *et al.*, 1996), coinciding with very high Mn levels in the soil (Table 5). The B concentration had an adequate range higher than that generally indicated in the literature, while 20.4 % of the orchards had values higher than 150 mg·kg⁻¹, the upper limit of the adequate range, although there were no significant decreases in yield until values of 210 mg·kg⁻¹ (Robinson, 1986; Mills *et al.*, 1996).

Leaf nutrient concentrations usually show variations between regions due to differences in soil, climate, varieties

CUADRO 9. Modelos de regresión para rendimiento de mango como función de las concentraciones nutrimentales en hoja.

TABLE 9. Regression models for mango yield based on leaf nutrient concentrations.

Nutriente / Nutrient	Modelo ^a / Model ^a	R ²
Nitrógeno / Nitrogen	$Y = \dots + 22.278 \text{ Fn } E^{0.25} - 10.387 \text{ Fn}^2 E^{0.25}$	0.809
Fósforo / Phosphorous	$Y = \dots + 267.477 (\text{Fp} - 0.03) E^{0.25} - 2397.988 (\text{Fp} - 0.03)^2 E^{0.25}$	0.773
Potasio / Potassium	$Y = \dots + 7.224 \text{ Fk}^{0.25} E^{0.25}$	0.736
Calcio / Calcium	$Y = \dots + 1.327 (\text{Fca} - 1.0)^{1.5} E^{0.25}$	0.779
Magnesio / Magnesium	$Y = \dots + 56.932 \text{ Fmg } E^{0.25} - 112.546 \text{ Fmg}^2 E^{0.25}$	0.833
Hierro / Iron	$Y = \dots + 1.450 (\text{Ffe} - 15)^{0.5} E^{0.25} - 0.0624 (\text{Ffe} - 15) E^{0.25}$	0.803
Manganeso / Manganese	$Y = \dots + 1.307 (\text{Fmn} - 50)^{0.5} E^{0.25} - 0.0405 (\text{Fmn} - 50) E^{0.25}$	0.801
Cobre / Copper	$Y = \dots + 6.458 \text{ Fcu}^{0.25} E^{0.25}$	0.745
Zinc	$Y = \dots + 3.962 \text{ Fzn}^{0.5} E^{0.25} - 0.430 \text{ Fzn } E^{0.25}$	0.731
Boro / Boron	$Y = \dots + 4.263 (\text{Fb} - 60)^{0.25} E^{0.25} - 0.0959 (\text{Fb} - 60) E^{0.25}$	0.799

^aY = rendimiento de fruto (t·ha⁻¹); Fn, Fp, Fk, Fca, Fmg, Ffe, Fmn, Fcu, Fzn, Fb = concentraciones en hoja de N, P, K, Ca y Mg en porcentaje, y de Fe, Mn, Cu, Zn y B, en miligramos por kilogramo, respectivamente; E = edad de los árboles (años).

^aY = fruit yield (t·ha⁻¹); Fn, Fp, Fk, Fca, Fmg, Ffe, Fmn, Fcu, Fzn, Fb = leaf concentrations of N, P, K, Ca and Mg in percentage, and of Fe, Mn, Cu, Zn y B, in milligrams per kilogram, respectively; E = tree age (years).

CUADRO 10. Rendimiento de mango para valores de concentraciones nutrimentales en hoja, en el intervalo de valores observados.
TABLE 10. Mango yield for leaf nutrient concentrations, in the interval of observed values.

Nutriente y rendimiento (Y) / Nutrient and yield (Y)		Valores del intervalo de observación de las concentraciones nutrimentales y rendimiento / Values of the observed interval of nutrient concentrations and yield										
Nitrógeno (%) / Nitrogen (%) Y (t·ha ⁻¹)	0.90 20.1	1.0 20.7	1.1 20.8	1.2 20.4	1.3 19.5	1.4 18.2	1.5 16.4	1.6 14.6				
Fósforo (%) / Phosphorous (%) Y (t·ha ⁻¹)	0.04 9.9	0.05 14.1	0.06 17.3	0.07 19.5	0.08 20.6	0.09 20.7	0.10 20.7	0.11 20.7				
Potasio (%) / Potassium (%) Y (t·ha ⁻¹)	0.1 14.0	0.2 15.7	0.3 16.9	0.4 17.8	0.5 18.6	0.6 19.2	0.7 19.8	0.8 20.3				
Calcio (%) / Calcium (%) Y (t·ha ⁻¹)	1.0 8.6	1.5 9.6	2.0 11.5	2.5 13.9	3.0 16.8	3.5 20.0	3.75 21.8					
Magnesio (%) / Magnesium (%) Y (t·ha ⁻¹)	0.075 14.6	0.100 16.6	0.125 18.3	0.150 19.7	0.175 20.8	0.200 21.6	0.225 22.1	0.250 22.3	0.275 22.2			
Hierro (mg·kg ⁻¹) / Iron (mg·kg ⁻¹) Y (t·ha ⁻¹)	30 12.8	40 15.1	50 16.7	60 18.0	70 18.9	80 19.6	90 20.1	100 20.6	110 20.9	120 21.1	130 21.3	140 21.4
Manganeso (mg·kg ⁻¹) / Manganese (mg·kg ⁻¹) Y (t·ha ⁻¹)	50 -	60 5.7	80 10.8	100 13.7	120 15.8	140 17.3	160 18.4	180 19.3	200 20.0	240 20.8	280 21.3	320 21.3
Cobre (mg·kg ⁻¹) / Copper (mg·kg ⁻¹) Y (t·ha ⁻¹)	2 13.7	3 15.3	4 16.6	5 17.7	6 18.6	7 19.4	8 20.2	9 20.8				
Zinc (mg·kg ⁻¹) Y (t·ha ⁻¹)	2 11.5	4 14.7	6 16.7	8 18.1	10 19.1	12 19.9	14 20.4	16 20.8	18 21.0	20 21.1	22 21.1	
Boro (mg·kg ⁻¹) / Boron (mg·kg ⁻¹) Y (t·ha ⁻¹)	70 15.1	80 17.5	100 19.4	120 20.1	140 20.3	160 20.0	180 19.5	200 18.9	210 18.5			

CUADRO 11. Rangos de suficiencia de concentraciones nutrimentales en hoja como función del rendimiento de fruto.
TABLE 11. Sufficiency ranges of leaf nutrient concentrations as a function of fruit yield.

Nutriente / Nutrient	Rango de concentración nutrimental / Nutrient concentration range				
	Deficiente / Deficient	Bajo / Low	Adecuado / Adequate	Alto / High	Excesivo / Excessive
Nitrógeno / Nitrogen:					
CN ^z / NC ^z	-	-	0.90 – 1.35	1.36-1.50	1.51-1.60
Y ^w (t·ha ⁻¹)	-	-	18.7-20.8	18.6-16.6	16.5-14.6
Fósforo / Phosphorous:					
CN / NC	0.05	0.05-0.06	0.07- 0.11	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	16.6	16.6-18.5	18.6-20.7	-	-
Potasio / Potassium:					
CN / NC	0.3	0.3-0.4	0.5- 0.8	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	16.2	16.2-18.2	18.3-20.3	-	-
Calcio / Calcium:					
CN / NC	2.8 - 3.0	3.1 - 3.3	3.4 - 3.75	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	15.3 - 17.3	17.4 - 19.5	19.6 - 21.8	-	-
Magnesio / Magnesium:					
CN / NC	0.08 – 0.10	0.11 – 0.15	0.16 - > 0.25	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	15.6 – 17.7	17.8 – 20.0	20.1 – 22.3	-	-
Hierro / Iron:					
CN / NC	53	53 - 74	75 - 140	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	17.2	17.1 - 19.2	19.3 – 21.4	-	-
Manganeso / Manganese:					
CN / NC	140	140 - 174	175 -320	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	17.0	17.0 – 19.1	19.2 – 21.3	-	-
Cobre / Copper:					
CN / NC	2 - 3	4 - 6	6 - 9	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	14.6 - 16.5	16.6 - 18.6	18.7 - 20.8	-	-
Zinc:					
CN / NC	7	7-9	10 - 22	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	16.9	16.9 - 18.9	19.0 - 21.1	-	-
Boro / Boron:					
CN / NC	75	75 - 84	85 - 210	-	-
Y (t·ha ⁻¹)	16.2	16.2 – 18.2	18.3 – 20.3	-	-

^zCN = concentración nutrimental. ^wY = Rendimiento de fruto

^zNC = Nutrient concentration. ^wY = Fruit yield.

CUADRO 12. Número de huertos por rango de suficiencia de las concentraciones nutrimentales en hoja.
TABLE 12. Number of orchards per sufficiency range for leaf nutrient concentrations.

Nutriente / Nutrient	Rango de suficiencia (número de huertos) / Sufficiency range (number of orchards)				
	Deficiente / Deficient	Bajo / Low	Adecuado / Adequate	Alto / High	Excesivo / Excessive
Nitrógeno / Nitrogen	-	-	40	7	1
Fósforo / Phosphorous	1	22	25	-	-
Potasio / Potassium	23	2	23	-	-
Calcio / Calcium	17	13	18	-	-
Magnesio / Magnesium	15	12	21	-	-
Hierro / Iron	22	13	13	-	-
Manganeso / Manganese	5	3	40	-	-
Cobre / Copper	4	27	17	-	-
Zinc / Zinc	5	5	38	-	-
Boro / Boron	6	15	27	-	-

Con los modelos de regresión obtenidos se calcularon los rendimientos de fruto para las concentraciones nutrimentales en hoja, en el intervalo de valores observados de éstas, edad de los árboles de 21 a 25 años (22.5 años en promedio), humedad del suelo a capacidad de campo de 32 % (en peso), 25 h de riego durante el ciclo de producción y con control de malezas con herbicidas (valor igual a 1 para la variable), información que se presenta en el Cuadro 10.

Excepto para Ca, todos los nutrientes alcanzaron el rendimiento máximo, o un valor cercano a este, dentro del intervalo de valores observados en las concentraciones nutrimentales de hoja, con rendimientos que variaron entre 20.3 y 21.4 t·ha⁻¹, y alcanzó 22.3 t·ha⁻¹ para Mg. Para Ca, el rendimiento continuó aumentando después del valor máximo de la concentración nutrimental en hoja observado (3.75 %).

Con base en los valores de las concentraciones nutrimentales en hoja en función del rendimiento, se establecieron los rangos de suficiencia para las concentraciones nutrimentales, información que se presenta en el Cuadro 11.

^z CN = Concentración nutrimental.

^w Y = Rendimiento de fruto.

Cabe resaltar que las concentraciones altas y excesivas de N causaron disminuciones del rendimiento, lo que concuerda con lo señalado por diversos investigadores para concentraciones mayores a 1.35 % de N (Vega y Molina, 1999; Medeiros *et al.*, 2004). La concentración de Ca presentó un rango adecuado, en su límite inferior, de 3.4 %, mayor que el que indica la literatura, de alrededor de 2.0 % (Robinson, 1986;

and crop management. In this regard, the adequate sufficiency range generated for the different nutrients had similar or different values, either lower or higher, than those generated in some other mango-producing regions such as Florida (Young and Koo, 1969), Hawaii (Uchida, 2000), Brazil (Medeiros *et al.*, 2004) and India (Hundal *et al.*, 2005), or generated in average terms by Robinson (1986) and Mills *et al.* (1996). However, the generated values were largely similar for P and Mg, lower for N and Zn, and higher for Ca, Mn and B.

Table 12 shows the number of orchards per sufficiency range for each nutrient. For N, all orchards had adequate or high concentrations, and one excessive. For P, K, Ca, Mg, Fe, Cu and B, a significant proportion of orchards had low and deficient concentrations. By contrast, for Mn and Zn orchards with adequate concentrations predominate.

The above implies that there are orchards requiring fertilizer applications, especially of P, K, Ca, Mg, Fe, Cu and B, and to a lesser extent Mn and Zn. For severe deficiencies (deficient range), these applications should be made at the beginning of the production cycle, and for moderate deficiencies (low range) they should be made during the early flowering stage of the trees. However, since leaf analysis would not be an option at the start of the production cycle or even as late as the early flowering state, information from the previous cycle would have to be considered (Castellanos *et al.*, 2000; Volke *et al.*, 2012). When fertilizing, producers also have to consider the amount of nutrient to be applied, since macroelements such as N, P and K are applied to the soil, and microelements such as Fe, Mn, Cu, Zn and B are applied to the leaves.

Mills *et al.*, 1996), a la vez que en su límite superior es mayor que 3.75 %, el valor máximo observado. La concentración de Mn presentó un límite inferior del rango adecuado superior al que usualmente indica la literatura (Robinson, 1986; Mills *et al.*, 1996), lo que coincide con contenidos muy altos de Mn en el suelo (Cuadro 5). La concentración de B presentó un rango adecuado mayor que el que generalmente indica la literatura, a la vez que 20.4 % de los huertos presentaron valores mayores que 150 mg·kg⁻¹, el límite superior del rango adecuado, aunque no se observaron disminuciones importantes del rendimiento hasta valores de 210 mg·kg⁻¹ (Robinson, 1986; Mills *et al.*, 1996).

Las concentraciones nutrimentales en hoja usualmente presentan variaciones entre regiones, debidas a diferencias de suelo, clima, variedades y manejo del cultivo. En este sentido, el rango de suficiencia adecuado generado para los distintos nutrientes presentaron valores similares o diferentes, ya sea menores o mayores, que los generados en algunas otras regiones productoras de mango, como Florida (Young y Koo, 1969), Hawaii (Uchida, 2000), de Brasil (Medeiros *et al.*, 2004) y de India (Hundal *et al.*, 2005), o generados en términos promedio por Robinson (1986) y Mills *et al.* (1996). Sin embargo, los valores generados fueron mayormente similares para P y Mg y menores para N y Zn, y mayores para Ca, Mn y B.

En el Cuadro 12 se presenta el número de huertos por rango de suficiencia para cada nutriente. Para N todos los huertos presentaron concentraciones adecuadas o altas, y uno excesiva. Para P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y B se observa una proporción importante de huertos con concentraciones bajas y deficientes. En cambio, para Mn y Zn predominan los huertos con concentraciones adecuadas.

Lo anterior implica que hay huertos en que se requeriría realizar aplicaciones de fertilizantes, especialmente de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y B, y en menor medida de Mn y Zn. Para deficiencias severas (rango deficiente) estas aplicaciones deberán hacerse al inicio del ciclo productivo, y para deficiencias moderadas (rango bajo) se podrán hacer durante la etapa temprana de floración de los árboles. Sin embargo, puesto que no se contaría con el análisis foliar al inicio del ciclo productivo o aún a la brevedad en el caso del estado de la floración temprana, habrá que considerar la información del ciclo anterior (Castellanos *et al.*, 2000; Volke *et al.*, 2012). En la fertilización también habrá que considerar la cantidad del nutriente a aplicar, ya que los macroelementos como N, P y K habrán de aplicarse al suelo, y los microelementos como el Fe, Mn, Cu, Zn y B se podrán aplicar foliarmente.

CONCLUSIONES

Los huertos presentaron concentraciones nutrimentales en hoja adecuadas y algunas altas para N, adecuadas y algunas bajas y deficientes para Mn, y Zn, y un porcentaje importante de concentraciones deficientes o bajas para P (49 %), K (53 %), Ca (61 %), Mg (57 %), Fe (73 %), Cu (65 %) y B (45 %).

CONCLUSIONS

The orchards had adequate and some high leaf nutrient concentrations for N, adequate and some low and deficient for Mn and Zn, and a significant percentage of deficient or low concentrations for P (49 %), K (53 %), Ca (61 %), Mg (57 %), Fe (73 %), Cu (65 %) and B (45 %).

A fertilization program should be implemented in those orchards that show low or deficient leaf nutrient concentrations.

End of English Version

Se debe implementar un programa de fertilización en aquellos huertos que muestren concentraciones nutrimentales foliares bajas o deficientes.

LITERATURA CITADA

- ALCÁNTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 156 p.
- ANÓNIMO. 2002a. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT 2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial (Segunda Sección), 31 de diciembre de 2002. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 75 p.
- ANÓNIMO. 2002b. Información Estadística y Geográfica de la República Mexicana. Campeche. s/p.
- ANÓNIMO. 2004. Información Estadística y Geográfica de la República Mexicana. Campeche. s/p.
- BATES, T. E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. Soil Science 112(2): 116-130.
- CASTELLANOS J., Z.; UVALLE, B.; AGUILAR S., A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Segunda Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. San Miguel Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- DUCH G., J. 1995. Los suelos, la agricultura y vegetación en Yucatán, pp. 97-107. In: La Milpa en Yucatán: Un Sistema de Producción Agrícola Tradicional. Tomo I. HERNÁNDEZ X., E.; BELLO B., E.; LEVY T., B. (eds.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- ETCHEVERS B., J.; PADILLA C., J. 2007. Diagnóstico nutrimental en plantas, pp. 201-247. In: Nutrición de Cultivos. ALCANTAR G., G.; TREJO T., L. I. (eds.). Mundi Prens México-Colegio de Postgraduados. D.F., México.
- HUNDAL, H. S.; SINGH, D.; BRAR, J. S. 2005. Diagnosis and recommendation integrated system for monitoring nutrient status of mango trees in submountainous area of Punjab,

- India. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(15-16): 2085-2099. doi:10.1080/00103620500194460
- KU N., R.; RIVERA DE L., M. 2005. Determinación de Potencial Productivo para el Cultivo de Maíz en el Estado de Campeche. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campeche, Campeche, México. 18 p.
- MEDEIROS, A. A.; AMORIN, J. R. A.; SILVA, D. J.; DANTAS, J. A.; GUERRA, A. G. 2004. Mineral composition of leaves and fruit of irrigated mango trees in Rio Grande do Norte, Brazil. *Acta Horticulturae* 645: 403-408. http://www.actahort.org/books/645/645_50.htm
- MEDINA-MÉNDEZ, J.; VOLKE-HALLER, V.; GONZÁLEZ-RÍOS, J.; GALVIS-SPÍNOLA, A.; SANTIAGO-CRUZ, M. J.; CORTÉS-FLORES, J. I. 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(2): 175-189. <http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/uciencia/diciembre2006/8%20Articulo197.pdf>
- MILLS, H. A.; JONES, J. B.; WOLF, B. 1996. Plant Analysis Handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, USA. 422 p.
- PALACIOS P., A. 1998. Determinación de las Necesidades Nutricionales de los Cultivos Hortícolas y Frutos con Calidad de Exportación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campeche, Campeche, México. 52 p.
- ROBINSON, J. B. 1986. Fruits, vines and nuts, pp. 120-147. *In*: Plant Analysis. An Interpretation Manual. REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. (eds.). Inkata Press. Melbourne-Sydney, Australia.
- RUÍZ F., F. 1995. Estrategias de planeación del manejo de los recursos del suelo para una agricultura sostenible, pp. 25-33. *In*: Manejo de Suelos Arcillosos para una Agricultura Sustentable. RUÍZ F., J. F. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx., México.
- SALGADO G., S.; PALMA L., D.; CISNEROS D., J. 1999. Manual de Procedimientos para el Muestreo de Suelos, Plantas y Aguas, e Interpretación en Cultivos Tropicales. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco-Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 76 p.
- SÁNCHEZ G., P.; MOLINOS D., A. S. CH.; ALCÁNTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 2007. Diagnóstico nutricional en plantas, pp. 201-247. *In*: Nutrición de Cultivos. ALCÁNTAR G., G.; TREJO T., L. I. (eds.). Mundi Prensa México-Colegio de Postgraduados. D.F., México.
- SINGH, H. P.; SINGH, G. 2007. Nutrient and water management in guava. *Acta Horticulturae* 735:389-397. http://www.actahort.org/books/735/735_55.htm
- TUCUCH C., M. F.; PALACIOS P., A.; KU N., R.; GUZMÁN E., C. 2005. Manejo del Cultivo de Mango en el Estado de Campeche. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campeche, Campeche, México. 45 p. <http://www.cesix.inifap.gob.mx/frutalestropicales/articulos/37.pdf>
- UCHIDA, R. 2000. Recommended plant tissue nutrient level for some vegetable, fruit and ornamental foliage and flowering plants in Hawaii, pp. 57-64. *In*: Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture. SILVA, J. A.; UCHIDA, R. (eds.). University of Hawaii at Manoa. Hawaii, USA. <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/pnm4.pdf>
- VEGA, E. V.; MOLINA, E. 1999. Fertilización nitrogenada en el cultivo de mango var. Tommy Atkins, en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(1): 37-44. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v23n01_037.pdf
- VOLKE H., V. 2008. Estimación de Funciones de Respuesta para Información de Tipo no Experimental, Mediante Regresión. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 113 p.
- VOLKE H., V.; CAMACHO B., R.; SÁNCHEZ G., P.; REBOLLAR A., A.; RUIZ R., F. 2012. Manual de Producción de Guayaba en la Región Oriente del Estado de Michoacán. Sistema Producto Guayaba-Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, A.C.-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 103 p.
- YOUNG, T. W.; KOO, R. C. J. 1969. Mineral composition of Florida mango leaves. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 82: 324-328. [http://fshs.org/proceedings-o/1969-vol-82/324-328%20\(YOUNG\).pdf](http://fshs.org/proceedings-o/1969-vol-82/324-328%20(YOUNG).pdf)