

Appropriate leaf sampling period for nutrient diagnosis in three mango cultivars

Periodo apropiado de muestreo foliar para el diagnóstico nutrimental en tres cultivares de mango

Samuel Salazar-García^{1*}; Raúl Medina-Torres²;
Martha Elva Ibarra-Estrada³; José González-Valdivia³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Entronque Carretera Internacional México-Nogales km 6, Santiago Ixcuintla, Nayarit, C. P. 63300, MÉXICO.

²Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela km 9, Apdo. Postal 49, Xalisco, Nayarit, C. P. 63780, MÉXICO.

³Investigadores independientes.

*Corresponding author: salazar.avocado@gmail.com, tel. (55)3871-8700 ext. 84426.

Abstract

In Nayarit, Mexico, it is common to perform leaf analyses in mango for nutrient diagnosis; however, the appropriate period to carry out leaf sampling is unknown, so procedures extrapolated from other producing regions are used, which leads to incorrect diagnoses. The aim of this research was to identify the appropriate leaf sampling period (ALSP) in 'Ataúlfo', 'Kent' and 'Tommy Atkins' mangos grown without irrigation. From 2006 to 2007 we worked with commercial orchards in the north, center and south of Nayarit. In 'Ataúlfo' and 'Kent' the spring (SpVF) and summer vegetative flushes (SuVF) were considered, and in 'Tommy Atkins' the SpVP and autumn one (AVF). Leaf samplings were performed monthly, starting when the leaf reached 5 cm in length and concluding upon its abscission. For each nutrient, a mathematical model was obtained to generate functions that predicted its concentration during the life of the leaf. Subsequently, we calculated the derivatives of each function, which enabled us to identify the period in which the concentration of nutrients presented the least variation and thus define the ALSP. In 'Ataúlfo', the ALSP for the SpVF and SuVF was from 9 to 11 and 3.3 to 5.3 months of age, respectively; in 'Kent', this period was from 8 to 10.5 (SpVF) and 3.2 to 5.0 (SuVF) months, and in 'Tommy Atkins' it corresponded to leaves from 8.7 to 12.2 (SpVF) and 8.6 to 9.4 (AVF) months. The mathematical procedure used was adequate to identify the ALSP in the three mango cultivars.

Keywords: *Mangifera indica*, vegetative flushes, mineral nutrition, leaf analysis.

Resumen

En Nayarit, México, es común realizar análisis foliares en mango para su diagnóstico nutrimental; sin embargo, se desconoce el periodo adecuado para llevar a cabo el muestreo foliar, por lo que se emplean procedimientos extrapolados de otras regiones productoras, lo cual origina diagnósticos incorrectos. El objetivo de esta investigación fue identificar el periodo apropiado para realizar el muestreo foliar (PAMF) en mangos 'Ataúlfo', 'Kent' y 'Tommy Atkins' cultivados sin riego. De 2006 a 2007 se trabajó con huertos comerciales del norte, centro y sur de Nayarit. En 'Ataúlfo' y 'Kent' se consideraron los flujos vegetativos de primavera (FVP) y verano (FVV), y en 'Tommy Atkins' los FVP y otoño (FVO). Los muestreos foliares se realizaron mensualmente e iniciaron cuando la hoja alcanzó 5 cm de longitud y concluyeron hasta su abscisión. Para cada nutrimento, se obtuvo un modelo matemático para generar funciones que predijeran su concentración durante la vida de la hoja. Posteriormente, se calcularon las derivadas de cada función, con lo que se identificó el periodo en que la concentración de nutrimentos presentó la menor variación y así definir el PAMF. En 'Ataúlfo', el PAMF para los FVP y FVV fue de 9 a 11 y de 3.3 a 5.3 meses de edad, respectivamente; en 'Kent', este periodo fue de 8 a 10.5 (FVP) y de 3.2 a 5.0 (FVV) meses, y en 'Tommy Atkins' correspondió a hojas de 8.7 a 12.2 (FVP) y de 8.6 a 9.4 (FVO) meses. El procedimiento matemático empleado fue adecuado para identificar el PAMF en los tres cultivares de mango.

Palabras clave: *Mangifera indica*, flujos vegetativos, nutrición mineral, análisis foliar.



Introduction

Studies on leaf nutrient concentration in mango have been focused on variations due to age, leaf position (Koo & Young, 1972; Pathak & Pandey, 1976), soil type, cultivar effect, and differences between terminal shoots with and without fructification (Samra, Chadha, & Thakur, 1978; Young & Koo, 1971). In addition, the results have varied according to the vegetative flush, sampling season (Rajput, Chadha, & Thakur, 1985) and phenological stage in which the leaf sampling is carried out (Ponchner, Rojas, & Bornemisza, 1993).

Avilán (1971) described two critical phases of the concentration of nutrients in 'Kent' mango grown in Venezuela. In the first, an increase in the leaf nutrient concentration begins with the end of the harvest period and extends until flowering; in the second, there is a decrease in the amount of nutrients, which coincides with the formation of the fruit and is the most critical. However, Castro-López, Salazar-García, González-Durán, Medina-Torres, and González-Valdivia (2012) found different results in the cv. Ataúlfo, Kent and Tommy Atkins in Mexico since the concentration of nutrients in leaves of the spring vegetative flush (SpVF) was more affected by the later stages of flower development (cauliflower stage before anthesis), while in summer (SuVF) or autumn vegetative flush (AVF) leaves, nutrient changes occurred to a greater extent due to fruit growth (Castro-López et al., 2012). However, there must be a period of minimum variation in the concentration of most nutrients, which would be adequate to perform leaf sampling for nutrient diagnosis purposes (Salazar-García, González-Durán, & Ibarra-Estrada, 2015).

The main criterion for determining the appropriate time for leaf sampling is that the nutrient concentration is stable. However, this is obtained from descriptive graphs, so the identification of the period of least nutrient variation is visual (Quiñones, Soler, & Legaz, 2013). This makes it difficult to determine the exact stage of stability, since only the dates in which leaf nutrient analysis was performed are given, and generally the interval between samplings is very broad (Benítez-Pardo, Hernández-Montoya, Osuna-Enciso, Valenzuela-López, & Galván-Piña, 2003; Young & Koo, 1971).

The use of mathematical functions and their respective derivatives have been useful in determining the appropriate leaf sampling period (ALSP) since they help identify the stage in which the least variation in nutrient concentration occurs during the life of the leaf. This procedure was used to establish the ALSP in 'Hass' avocado (Salazar-García et al., 2015). However, no information in this regard was found for mango.

Introducción

Los estudios sobre concentración nutrimental foliar en mango han sido enfocados en las variaciones debidas a la edad, posición de la hoja (Koo & Young, 1972; Pathak & Pandey, 1976), el tipo de suelo, el efecto del cultivar, y diferencias entre brotes terminales con y sin fructificar (Samra, Chadha, & Thakur, 1978; Young & Koo, 1971). Además, los resultados han variado según el flujo vegetativo, la época de muestreo (Rajput, Chadha, & Thakur, 1985) y la etapa fenológica en que se realiza el muestreo foliar (Ponchner, Rojas, & Bornemisza, 1993).

Avilán (1971) describió dos fases críticas de la concentración de nutrientes en mango 'Kent' de Venezuela. La primera de incremento de la concentración nutrimental foliar, que comienza con el término de la cosecha y se extiende hasta la floración; la segunda de disminución de la cantidad de nutrimentos, que coincide con la formación de los frutos y es la más crítica. Sin embargo, Castro-López, Salazar-García, González-Durán, Medina-Torres, y González-Valdivia (2012) encontraron resultados diferentes en los cultivares Ataúlfo, Kent y Tommy Atkins en México, ya que la concentración de nutrimentos en hojas del flujo vegetativo de primavera (FVP) fue más afectada por las últimas etapas del desarrollo floral (estado coliflor a anthesis). Mientras que en hojas de flujo vegetativo de verano (FVV) u otoño (FVO), los cambios nutrimentales ocurrieron en mayor medida por el crecimiento del fruto (Castro-López et al., 2012). No obstante, debe existir un periodo de mínima variación en la concentración de la mayoría de los nutrimentos, el cual sería el adecuado para realizar el muestreo foliar con fines de diagnóstico nutrimental (Salazar-García, González-Durán, & Ibarra-Estrada, 2015).

El principal criterio para determinar la época adecuada para el muestreo foliar es que la concentración nutrimental sea estable. Sin embargo, esto se obtiene a partir de gráficas descriptivas, por lo que la identificación del periodo de menor variación nutrimental es visual (Quiñones, Soler, & Legaz, 2013). Lo anterior dificulta determinar la etapa exacta de estabilidad, ya que sólo se tienen datos de las fechas en las que se realizó análisis nutrimental foliar, y generalmente el intervalo entre muestreos es muy amplio (Benítez-Pardo, Hernández-Montoya, Osuna-Enciso, Valenzuela-López, & Galván-Piña, 2003; Young & Koo, 1971).

El uso de funciones matemáticas y sus respectivas derivadas han sido útiles para determinar el periodo apropiado para el muestreo foliar (PAMF), ya que ayudan a identificar la etapa en la que ocurre la menor variación en la concentración de nutrimentos durante

In the state of Nayarit, Mexico, leaf analyses are increasingly used to diagnose the nutrient status of mango orchards. However, the dates to collect the leaves are determined *a priori*, without considering the age of the leaves or the vegetative flush they come from, or extrapolated from other regions. Therefore, the aim of this research was to identify the appropriate period for leaf sampling of rainfed 'Ataúlfo', 'Kent' and 'Tommy Atkins' mangos for the purpose of nutrient diagnosis.

Materials and methods

The research was conducted during 2006 and 2007 in seven rainfed commercial orchards of the cvs. Ataúlfo (two orchards), Kent (three orchards) and Tommy Atkins (two orchards) established at 8 x 8 m in the municipalities of Acaponeta (northern zone), San Blas and Tepic (central zone) and Compostela (southern zone) in Nayarit (Table 1). In this region, the climate is sub-humid warm (García, 1998), and the maximum and minimum average temperatures are 28 and 18 °C, respectively. Rainfall occurs from June to October (1,089 to 1,324 mm) and the precipitation of the driest month is less than 50 mm.

Soil analysis

At the beginning of the study (May 2006), 10 trees were randomly selected in each orchard and from

la vida de la hoja. Este procedimiento se utilizó para establecer el PAMF en aguacate 'Hass' (Salazar-García et al., 2015). No obstante, en mango no se encontró información al respecto.

En el estado de Nayarit, México, los análisis foliares son cada vez más usados para diagnosticar el estado nutricional de los huertos de mango. Sin embargo, las fechas para colectar las hojas son determinadas *a priori*, sin considerar la edad de las hojas ni el flujo vegetativo del que provienen, o extrapoladas de otras regiones productoras. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue identificar el periodo apropiado para realizar el muestreo foliar de mangos 'Ataúlfo', 'Kent' y 'Tommy Atkins' cultivados sin riego con fines de diagnóstico nutricional.

Materiales y métodos

La investigación se realizó durante 2006 y 2007 en siete huertos comerciales sin riego de los cultivares Ataúlfo (dos huertos), Kent (tres huertos) y Tommy Atkins (dos huertos) establecidos a 8 x 8 m en los municipios de Acaponeta (zona norte), San Blas y Tepic (zona centro) y Compostela (zona sur) de Nayarit (Cuadro 1). En esta región, el clima es cálido subhúmedo (García, 1998), y las temperaturas promedio máxima y mínima son de 28 y 18 °C, respectivamente. Las lluvias ocurren de junio a octubre (1,089 a 1,324 mm) y la precipitación del mes más seco es menor a 50 mm.

Table 1. Location and characteristics of mango orchards.

Cuadro 1. Localización y características de los huertos de mango.

Cultivar	Location, municipality/ Localidad, municipio	Coordinates/ Coordenadas	Elevation (masl)/ Altitud (msnm)	Age (years)/ Edad (años)	Soil classification/ Clasificación de suelos
Ataúlfo	Atonalisco, Tepic	NL/LN 21° 36' 46.9" WL/LO 104° 49' 43.6"	601	12	Chromic luvisol/ Luvisol crómico
	Chacala, Compostela	NL/LN 21° 10' 20.3" WL/LO 105° 10' 32.7"	42	11	Eutric cambisol/ Cambisol eútrico
Kent	Buenavista, Acaponeta	NL/LN 22° 27' 44" WL/LO 105° 26' 55.8"	11	10	Eutric cambisol/ Cambisol eútrico
	Las Palmas, San Blas	NL/LN 21° 37' 05.0" WL/LO 105° 09' 30.1"	139	20	Humic acrisol/ Acrisol húmico
	Chacala, Compostela	NL/LN 21° 10' 05.2" WL/LO 105° 10' 31.5"	54	17	Eutric cambisol/ Cambisol eútrico
Tommy Atkins	Buenavista, Acaponeta	NL/LN 22° 27' 44" WL/LO 105° 26' 55.8"	14	18	Eutric cambisol/ Cambisol eútrico
	Chacala, Compostela	NL/LN 21° 10' 14.3" WL/LO 105° 09' 52.2"	38	17	Eutric cambisol/ Cambisol eútrico

each one a sample composed of four subsamples (one for each cardinal point) was obtained from the tree's drip zone, from 0-30 cm deep, since it is where there is the greatest abundance of fine roots (Salazar-García, Ramírez-Murillo, & Gómez-Aguilar, 1993). From the 40 sub-samples, a composite sample was obtained and analyzed for its physical and chemical characteristics in a laboratory accredited by the North American Proficiency Testing (NAPT) program of the Soil Science Society of America. Soil properties determined were: texture; pH (1:2 water) (McLean, 1982); organic matter by the method of Walkley and Black (Nelson & Sommers, 1982); N-inorganic (Dahnke, 1990); P-Bray (Bray & Kurtz, 1945); K, Ca, Mg and Na extracted with ammonium acetate (Doll & Lucas, 1973); Fe, Zn, Cu and Mn by the DTPA method (Lindsay & Norvell, 1978), and B by the hot water method and Azometina-H (Bingham, 1982). Nutrients were quantified with an atomic absorption spectrophotometer (Thermo Series S, Madison, Wisconsin, USA), with the exception of P and B, which were determined in a spectrophotometer (Genesys™ 20, Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA).

Leaf sampling

In each orchard, trees were identified that, according to the grower, had an annual production ≥ 100 kg, which surpasses the current average ($11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) of mango in the region (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016). Of these trees, 20 were randomly selected and in each one 20 shoots of each vegetative flush were tagged in a bud-breaking stage (zero day). In each mango cultivar, two vegetative flushes were studied. Their starting dates were: January 5 for the SpVF (Ataúlfo, Kent and Tommy Atkins), June 22 for the SuVF (Ataúlfo and Kent) and September 21 for the AVF (Tommy Atkins). Once the zero day was established, the days after leaf sprouting (DALs) were counted until abscission.

Monthly leaf samplings were made for each vegetative flush, alternating between odd- and even-numbered trees (10 trees per sampling date), which started when the leaf was ≥ 5 cm long and ended when senescence and abscission occurred. To avoid contamination of the leaves by the soil, they were attached from the petiole, with a cotton thread, to the shoot that held them. In each sampling, 20 healthy, complete (lamina + petiole) leaves were collected per tree from the six and seven basipetal positions. In total, 15 leaf samplings of the SpVF were performed in the three mango cultivars (from February 2006 to April 2007), 12 samplings from the Ataúlfo and Kent cultivars of the SuVF (from August 2006 to July 2007) and 12 samplings from the Tommy Atkins cultivar of the AVF (October 2006 to September 2007). Additionally, in each sampling the length of the lamina of 10 leaves from each tree was measured.

Análisis de suelo

Al inicio del estudio (mayo 2006), en cada huerto se eligieron al azar 10 árboles y de cada uno se obtuvo una muestra compuesta por cuatro submuestras (una por cada punto cardinal) de la zona de goteo del árbol, de 0-30 cm de profundidad, ya que es el lugar de mayor abundancia de raíces finas (Salazar-García, Ramírez-Murillo, & Gómez-Aguilar, 1993). De las 40 submuestras, se obtuvo una muestra compuesta a la que se le analizaron sus características físicas y químicas en un laboratorio acreditado por el programa North American Proficiency Testing (NAPT) de la Soil Science Society of America. Se le determinó textura; pH (1:2 agua) (McLean, 1982); materia orgánica por el método de Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1982); N-inorgánico (Dahnke, 1990); P-Bray (Bray & Kurtz, 1945); K, Ca, Mg y Na extraídos con acetato de amonio (Doll & Lucas, 1973); Fe, Zn, Cu y Mn por el método DTPA (Lindsay & Norvell, 1978), y B por el método de agua caliente y Azometina-H (Bingham, 1982). Los nutrimentos se cuantificaron con un espectrofotómetro de absorción atómica (Thermo Series S, Madison, Wisconsin, USA), con excepción del P y B, los cuales se determinaron en un espectrofotómetro (Genesys™ 20, Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA).

Muestreo foliar

En cada huerto se identificaron árboles que, a juicio del productor, tenían una producción anual ≥ 100 kg, lo cual supera la media actual ($11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) de mango en la región (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016). De estos árboles, se seleccionaron al azar 20 y en cada uno se etiquetaron 20 brotes de cada flujo vegetativo en estado de rompimiento de yemas (día cero). En cada cultivar de mango se estudiaron dos flujos vegetativos cuyas fechas de inicio fueron: 05 de enero para el FVP (Ataúlfo, Kent y Tommy Atkins), 22 de junio para el FVV (Ataúlfo y Kent) y 21 de septiembre para el FVO (Tommy Atkins). Una vez establecido el día cero, se contabilizaron los días después de la brotación de la hoja (DDBH) hasta su abscisión.

Se realizaron muestreos foliares mensuales para cada flujo vegetativo, alternando entre árboles nones y pares (10 árboles por fecha de muestreo), los cuales iniciaron cuando la hoja tenía ≥ 5 cm de longitud y terminaron cuando ocurrió la senescencia y abscisión. Para evitar la contaminación de las hojas con el suelo, éstas se sujetaron del peciolo, con un hilo de algodón, al brote que las sostenía. En cada muestreo se colectaron 20 hojas completas (lámina + peciolo) y sanas por árbol, de las posiciones seis y siete basipétala. En total se realizaron 15 muestreos foliares del FVP en los tres cultivares de mango (de febrero de 2006 a abril de 2007), 12 muestreos de los cultivares Ataúlfo y Kent del FVV (de agosto de 2006 a julio de 2007) y 12 muestreos

The leaves were washed and dried in a forced-air oven at 65 °C for 48 h. Subsequently, they were ground in a stainless-steel mill (MF10, IKA®), sieved in mesh no. 1.0 (35 holes·cm⁻²) and sent to the aforementioned laboratory to determine the concentrations of N-total, NO₃, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn and B. N-total was determined by the semi-microKjeldahl method (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Bremner & Mulvaney, 1982), which is based on the wet oxidation of organic matter using sulfuric acid and a catalyst, while for NO₃ the nitration method with salicylic acid was used (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Etchevers et al., 2000). The K was extracted with distilled water and quantified in an atomic absorption spectrophotometer (ICE 3000™, Thermo Scientific) (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Etchevers et al., 2000). The P and S were determined using the vanadate-yellow molybdate and turbidimetry methods, respectively. The B was determined by the azomethine-H calcination method (Enríquez, 1989) with a spectrophotometer (Genesys™ 20, Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA). For Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn, the HNO₃+HCl microwave digestion method was used (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Etchevers et al., 2000). These last nutrients were quantified by atomic absorption in a spectrophotometer (ICAP 7200™, Thermo Scientific).

Determination of appropriate leaf sampling period

In this determination, the procedure described by Salazar-García et al. (2015) was used. For each orchard and vegetative flush, mathematical functions were generated using DALS as an independent variable and the concentrations of each nutrient as dependent variables. The general equation was: Nutrient = $\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D^3 + \beta_4 D^4 + \beta_5 D^5$; where D are the days after sprouting and β the mathematical coefficients. Subsequently, for each nutrient, the best mathematical function was selected by order of response (from the first to the sixth order) with the "Stepwise" procedure of the Statistical Analysis System (SAS Institute, 2009). The criteria for choosing the best functions were: 1) highest R² value, 2) lowest mean squared error (MSE) and 3) Mallows's Cp value (Draper & Smith, 1981; Neter, Li, & Kutner, 1985). Once the best functions were identified, their mathematical coefficients (β_0, \dots, β_n) were calculated by the REG procedure (SAS Institute, 2009). The predicted values for each day of the nutrient evolution were calculated by substituting the DALS value in the general equation.

Once the best mathematical functions of each nutrient were selected, the derivatives for each day were calculated. The values obtained were plotted in SigmaPlot (Systat Software Inc., 2006) to identify the

del cultivar Tommy Atkins del FVO (de octubre de 2006 a septiembre de 2007). Adicionalmente, en cada muestreo se midió la longitud de la lámina de 10 hojas de cada árbol.

Las hojas se lavaron y secaron en un horno con aire forzado a 65 °C durante 48 h. Posteriormente, se trituraron en un molino de acero inoxidable (MF10, IKA®), se tamizaron en malla núm. 1.0 (35 hoyos·cm⁻²) y se enviaron al laboratorio antes mencionado para determinar las concentraciones de N-total, NO₃, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B. La determinación de N-total se realizó mediante el método semi-microKjeldahl (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Bremner & Mulvaney, 1982), el cual se basa en la oxidación húmeda de la materia orgánica usando ácido sulfúrico y un catalizador; mientras que para NO₃ se empleó el método de nitración con ácido salicílico (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Etchevers et al., 2000). El K se extrajo con agua destilada y se cuantificó en un espectrofotómetro de absorción atómica (ICE 3000™, Thermo Scientific) (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Etchevers et al., 2000). El P y S se determinaron utilizando los métodos de vanadato-molibdato amarillo y turbidimetría, respectivamente. El B se determinó por el método de calcinación azometina-H (Enríquez, 1989) con un espectrofotómetro (Genesys™ 20, Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA). Para el Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn se empleó el método de digestión en microondas HNO₃+HCl (Alcántar-González, & Sandoval-Villa, 1999; Etchevers et al., 2000). Estos últimos nutrimentos se cuantificaron por absorción atómica en un espectrofotómetro (ICAP 7200™, Thermo Scientific).

Determinación del periodo apropiado para el muestreo foliar

En esta determinación se siguió el procedimiento descrito por Salazar-García et al. (2015). Para cada huerto y flujo vegetativo, se generaron funciones matemáticas empleando los DDBH como variable independiente y las concentraciones de cada nutrimento como variables dependientes. La ecuación general fue: Nutrimento = $\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D^3 + \beta_4 D^4 + \beta_5 D^5$; donde D son los días después de la brotación y β los coeficientes matemáticos. Posteriormente, para cada nutrimento se seleccionó la mejor función matemática por orden de respuesta (del primero hasta el sexto orden) con el procedimiento "Stepwise" del programa *Statistical Analysis System* (SAS Institute, 2009). Los criterios para elegir las mejores funciones fueron: 1) mayor valor de R², 2) menor cuadrado medio del error (CME) y 3) el valor del coeficiente de Mallows (Cp) (Draper & Smith, 1981; Neter, Li, & Kutner, 1985). Una vez identificadas las mejores funciones, se calcularon sus coeficientes matemáticos (β_0, \dots, β_n) por el procedimiento REG (SAS Institute, 2009). Los valores predichos para cada día de

periods of least variation, referred to here as having greater stability, of each nutrient. The values can be positive or negative, and as they approach zero the rate of change in the concentration of each nutrient is lower; therefore, the criterion to determine the ALSP was that the result of the derivative was equal or close to zero (Granville, Smith, & Longley, 1963). Then, for each mango cultivar, a table was prepared with the periods of greatest stability for macro and micronutrients, as well as the ALSP for each vegetative flush.

Results and discussion

Soil properties

There were some differences in the soil characteristics of the mango orchards where the study was carried out (Table 2). The Chacala and Atonalisco orchards had the most clayey textures. Soil pH varied from 4.7 in Chacala to 6.7 in Las Palmas, and in the 'Tommy Atkins' and 'Kent' (Buenavista) orchards it was within the limits in which mango thrives (5.0 to 6.5) (Chávez-Contreras, Vega-Piña, Tapia-Vargas, & Miranda-Salcedo, 2001). On the other hand, in the 'Ataúlfo' orchards, the most acidic pH values were recorded (4.7 to 4.9); this type of soil tends to favor leaf nutrient deficiencies, mainly Ca and Mg (Salazar-García, 2002). No salinity problems were detected. As for organic matter, only in the Buenavista orchards was the content very low. Additionally, low and very low concentrations of Ca, Mg, Zn and B were evident, and that of Mn was classified as moderately high to very high.

Appropriate leaf sampling period

As the results of leaf analysis vary with vegetative flush and sampling time, Rajput et al. (1985) suggest establishing an adequate sampling period for each flush to avoid erroneous results. In the present work, the periods of leaf nutrient stability (PLNS) showed differences among the mango cultivars, as well as among their corresponding vegetative flushes (Table 3).

'Ataúlfo'. In the SpVF, the PLNS for N, P, K, Ca and Mg was from 249 to 331 DALS (Table 3; Figure 1A), and for S from 175 to 226 DALS. In the case of micronutrients, PLNS occurred between 276 and 236 DALS (Table 3; Figure 1B). Although the Mn concentration did not present stability, this period applies to this nutrient. Therefore, for both macro and micronutrients, the ALSP was delimited from October 8 to December 2 (276 to 331 DALS).

For the SuVF, macronutrients stabilized between 94 and 170 DALS (Table 3; Figure 1C) and micronutrients between 100 and 160 DALS (Table 3; Figure 1D). In both cases, the ALSP was from September 30 to November 29

la evolución nutricional se calcularon sustituyendo el valor de DDBH en la ecuación general.

Una vez seleccionadas las mejores funciones matemáticas de cada nutrimento, se calcularon las derivadas para cada día. Los valores obtenidos se graficaron en SigmaPlot (Systat Software Inc., 2006) para identificar los periodos de menor variación, referidos aquí como de mayor estabilidad, de cada nutriente. Los valores pueden ser positivos o negativos, y conforme se aproximan a cero la tasa de cambio de la concentración de cada nutriente es menor; por lo que el criterio para determinar el PAMF fue que el resultado de la derivada fuera igual o cercano a cero (Granville, Smith, & Longley, 1963). Después, para cada cultivar de mango se elaboró una tabla con los periodos de mayor estabilidad para macro y micronutrientes, así como los PAMF de cada flujo vegetativo.

Resultados y discusión

Propiedades de los suelos

Se presentaron algunas diferencias en las características del suelo de los huertos de mango donde se realizó el estudio (Cuadro 2). Los huertos de Chacala y Atonalisco tuvieron las texturas más arcillosas. El pH del suelo varió de 4.7 en Chacala a 6.7 en Las Palmas, y en los huertos de 'Tommy Atkins' y 'Kent' (Buenavista) se ubicó dentro de los límites en los que prospera el mango (5.0 a 6.5) (Chávez-Contreras, Vega-Piña, Tapia-Vargas, & Miranda-Salcedo, 2001). Por su parte, en los huertos de 'Ataúlfo' se registraron los pH más ácidos (4.7 a 4.9); este tipo de suelos suelen favorecer deficiencias nutrimentales foliares, principalmente de Ca y Mg (Salazar-García, 2002). No se detectaron problemas de salinidad y respecto a la materia orgánica, solamente en los huertos de Buenavista el contenido fue muy bajo. Adicionalmente, fueron evidentes las concentraciones bajas y muy bajas de Ca, Mg, Zn y B, y la de Mn fue clasificada de moderadamente alta a muy alta.

Periodo apropiado para el muestreo foliar

Como los resultados del análisis foliar varían con el flujo vegetativo y la época de muestreo, Rajput et al. (1985) sugieren establecer una época adecuada de muestreo para cada flujo, esto para evitar resultados erróneos. En este trabajo, los periodos de estabilidad nutricional foliar (PENF) mostraron diferencias entre los cultivares de mango, así como entre sus correspondientes flujos vegetativos (Cuadro 3).

'Ataúlfo'. En el FVP, el PENF para N, P, K, Ca y Mg fue de 249 a 331 DDBH (Cuadro 3; Figura 1A), y para el S de 175 a 226 DDBH. En el caso de micronutrientes, el PENF ocurrió entre 276 y 236 DDBH (Cuadro 3; Figura 1B).

Table 2. Soil properties (from 0-30 cm deep) of the mango orchards.**Cuadro 2. Propiedades del suelo (de 0-30 cm de profundidad) de los huertos de mango.**

Property / Propiedad	Ataúlfo		Kent			Tommy Atkins	
	Atonalisco	Chacala	Buenavista	Chacala	Las Palmas	Buenavista	Chacala
Texture / Textura	Cl ¹ / Ar ¹	Cl / Ar	Lo / Fr	S-C-L / M-A-L	Cl / Ar	Lo / Fr	Cl / Ar
pH (1:2)	4.9 SA / FA	4.7 SA / FA	5.1 SA / FA	6.6 MoAc	6.7 N	6.4 MoAc	5.5 SA / FA
EC (dS·m ⁻¹) / CE (dS·m ⁻¹)	0.170	0.08	0.60	0.16	0.11	0.26	0.08
O.M. (%) / M.O. (%)	3.0 MoH / MoA	3.4 MoH / MoA	1.2 MoL / MoB	4.7 VeH / MuA	3.6 H / A	1.4 MoL / MoB	3.7 H / A
CEC (meq·100 g ⁻¹) / CIC (meq·100 g ⁻¹)	7.59	7.47	4.9	15.0	18.9	5.86	9.90
mg·kg ⁻¹							
N-Inorganic / N-Inorgánico	11.4 M	15.6 M	81.4 VeH / MuA	17.7 M	8.94 MoL / MoB	6.23 MoL / MoB	12.2 M
P-Bray	23.4 MoH / MoA	25.2 MoH / MoA	62.1 VeH / MuA	10.8 MoL / MoB	6.98 L / B	9.2 MoL / MoB	13.1 M
K	357 M	108 L / B	384 M	218 MoL / MoB	346 M	227 MoL / MoB	225 MoL / MoB
Ca	572 L / B	687 L / B	572 L / B	2404 MoH / MoA	2432 MoH / MoA	858 L / B	1230 MoL / MoB
Mg	174 L / B	160 L / B	56 VeL / MuB	280 MoL / MoB	323 M	71 VeL / MuB	332 M
Na	68 L / B	34 VeL / MuB	33 VeL / MuB	38 VeL / MuB	41 VeL / MuB	31 VeL / MuB	36 VeL / MuB
Fe	18.6 M	17.4 M	53.4 H / A	8.56 MoL / MoB	7.14 MoL / MoB	56.8 H / A	25.9 MoH / MoA
Zn	0.78 L / B	0.42 L / B	0.40 L / B	0.44 L / B	0.53 L / B	0.75 L / B	0.84 MoL / MoB
Mn	29 MoH / MoA	73.1 VeH / MuA	47.9 H / A	23.8 MoH / MoA	28.9 MoH / MoA	60.5 VeH / MuA	98.4 VeH / MuA
Cu	0.43 MoL / MoB	2.42 H / A	1.63 MoH / MoA	2.05 MoH / MoA	1.26 MoH / MoA	1.45 MoH / MoA	1.47 MoH / MoA
B	0.42 MoL / MoB	0.63 M	0.55 MoL / MoB	0.81 M	0.63 M	0.61 M	0.78 M

¹Cl: clayey; Lo: loamy; S-C-L: silty-clay-loam; SA: strongly acidic; MoAc: moderately acidic; N: neutral; VeL: very low; L: low; MoL: moderately low; M: medium; MoH: moderately high; H: high; VeH: very high; StH: strongly high and MoA: moderately acidic; EC: electrical conductivity; O.M.: organic matter content; CEC: cation exchange capacity.

¹Ar: arcillosa; Fr: franca; M-A-L: migajón-arcillo-limosa; FA: fuertemente ácido; MoAc: moderadamente ácido; N: neutro; MuB: muy bajo; B: bajo; MoB: moderadamente bajo; M: mediano; MoA: moderadamente alto; A: alto; MuA: muy alto; FuA: fuertemente alto y MoA: moderadamente ácido; CE: conductividad eléctrica; M.O.: contenido de materia orgánica; CIC: capacidad de intercambio catiónico.

(100 to 160 DALS; Table 3). In this case, as in the SpVF, the PLNS of the micronutrients was fitted to Mn even though in this nutrient there was not a period of stability.

For the 'Manila' mango grown in Veracruz, Mexico, leaf sampling is recommended in June-July or August-September, when the spring leaves are four to seven months old (Mosqueda-Vázquez et al., 1996). When comparing these results with those obtained from cv. Ataúlfo no coincidence was found, since in 'Ataúlfo' the ALSP for the SpVF was when the leaves were from nine to eleven months of age. The foregoing evidences the need to obtain specific information for each mango cultivar and cultivation condition.

'Kent'. In this cultivar, the PLNS in the SpVF for macronutrients was from 241 to 316 DALS (Table 3; Figure 2A) and for micronutrients between 215 and 318 DALS (Table 3; Figure 2B). As in 'Ataúlfo', S did not show a PLNS that coincided with the other macronutrients;

Aunque la concentración de Mn no presentó estabilidad, dicho periodo aplica para este nutrimento. Por lo anterior, tanto para macro como micronutrientes, el PAMF se delimitó del 8 de octubre al 2 de diciembre (276 a 331 DDBH).

Para el FVV, los macronutrientes se estabilizaron entre 94 y 170 DDBH (Cuadro 3; Figura 1C) y los micronutrientes entre 100 a 160 DDBH (Cuadro 3; Figura 1D). En ambos casos el PAMF fue del 30 de septiembre al 29 noviembre (100 a 160 DDBH; Cuadro 3). En este caso, al igual que en el FVP, el PENF de los micronutrientes se ajustó al Mn a pesar de que en este nutrimento no se registró un periodo de estabilidad.

Para el mango 'Manila' cultivado en Veracruz, México, se recomienda hacer el muestreo foliar en junio-julio o agosto-septiembre, cuando las hojas de primavera tienen de cuatro a siete meses de edad (Mosqueda-Vázquez et al., 1996). Al comparar estos resultados

Table 3. Period of leaf nutrient stability in days (PLNS, shaded cells) and appropriate leaf sampling period (ALSP, cells between vertical thick lines) for each vegetative flush of 'Ataúlfo' and 'Kent' mangos.

Cuadro 3. Periodo de estabilidad nutrimental foliar en días (PENF; celdas sombreadas) y periodo apropiado para el muestreo foliar (PAMF; celdas entre líneas gruesas verticales) para cada flujo vegetativo de los mangos 'Ataúlfo' y 'Kent'.

Ataúlfo	Spring /Primavera										PLNS/ PENF	ALSP /PAMF				
	August/ Agosto				September/ Septiembre			October/ Octubre		November/ Noviembre		December/ Diciembre		Date /Fecha	DALS¹/ DDBH¹	
N, P, K, Ca, Mg, S														249-331	October 8- December 2 /	276-331
Fe, Cu, Mn, Zn, B														276-336	8 de octubre al 2 de diciembre	276-331
	Summer /Verano										PLNS/ PENF	ALSP /PAMF				
	August/ Agosto				September/ Septiembre			October/ Octubre		November/ Noviembre		December/ Diciembre		Date /Fecha	DALS/ DDBH	
N, P, K, Ca, Mg, S														94-170	September 30- November 29 /	100-160
Fe, Cu, Mn, Zn, B														100-160	30 de septiembre al 29 de noviembre	100-160
Kent	Spring /Primavera										PLNS/ PENF	ALSP /PAMF				
	August/ Agosto				September/ Septiembre			October/ Octubre		November/ Noviembre		December/ Diciembre		Date /Fecha	DALS/ DDBH	
N, P, K, Ca, Mg, S														241-316	September 3- November 17 /	241-316
Fe, Cu, Mn, Zn, B														215-318	3 de septiembre al 17 de noviembre	241-316
	Summer /Verano										PLNS/ PENF	ALSP /PAMF				
	August/ Agosto				September/ Septiembre			October/ Octubre		November/ Noviembre		December/ Diciembre		Date /Fecha	DALS/ DDBH	
N, P, K, Ca, Mg, S														96-150	September 27- November 19 /	96-150
Fe, Cu, Mn, Zn, B														75-157	27 de septiembre al 19 de noviembre	96-150

¹Days after leaf sprouting / ¹Días después de la brotación de la hoja

however, between 241 and 316 DALS the value of its derivative showed a lower change rate. The instability of S could be caused by the frequent chemical sprayings that contain this element to control diseases such as anthracnose and powdery mildew (Espinoza-Aburto et al., 2006).

In the SuVF, the PLNS for macro and micronutrients was between 96 and 150 DALS and 75 to 157 DALS, respectively (Table 3; Figures 2D and 2C). According to the above, the ALSP was from September 26 to November 19 (96 to 150 DALS) (Table 3). Leaf samplings are appropriate with leaf ages between eight to ten months (spring leaves) and three to five months (summer leaves). These results do not coincide with those reported by Benítez-Pardo et al. (2003), who for the same mango cultivar, but in the state of Sinaloa (located north of Nayarit), recommend analyzing leaves from

con los obtenidos del cv. Ataúlfo no se encontró coincidencia, ya que en 'Ataúlfo' el PAMF para el FVP fue cuando las hojas tenían de nueve a once meses de edad. Lo anterior evidencia la necesidad de obtener información específica para cada cultivar de mango y condición de cultivo.

'Kent'. En este cultivar, el PENF en el FVP para macronutrientes fue de 241 a 316 DDBH (Cuadro 3; Figura 2A) y para micronutrientes entre 215 y 318 DDBH (Cuadro 3; Figura 2B). Al igual que en 'Ataúlfo', el S no mostró un PENF que coincidiera con los demás macronutrientes; no obstante, entre 241 y 316 DDBH el valor de su derivada mostró una menor tasa de cambio. La inestabilidad del S pudo ser ocasionada por las frecuentes aspersiones de químicos que contienen este elemento para controlar enfermedades como antracnosis y cenicilla (Espinoza-Aburto et al., 2006).

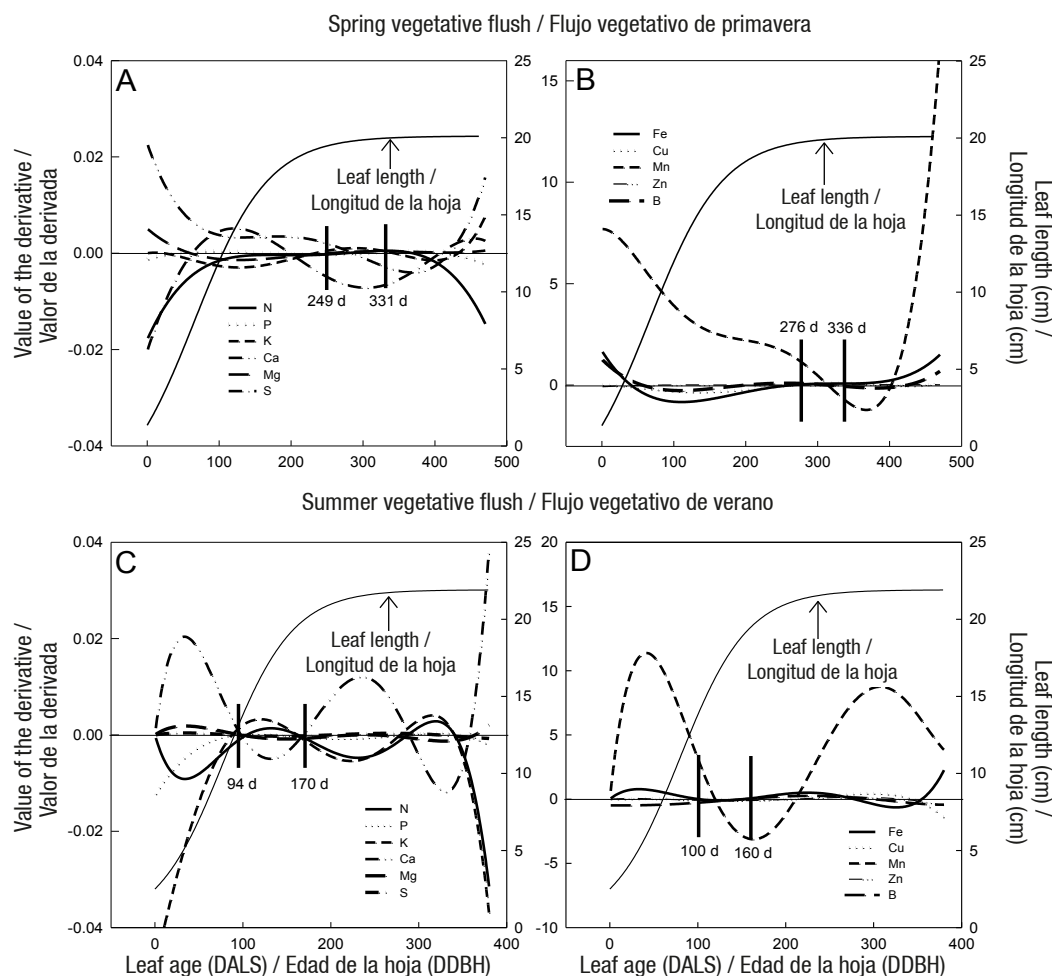


Figure 1. Leaf length, value of the derivative and periods of nutrient stability (space between the vertical lines) for macro (A and C) and micronutrients (B and D) in 'Ataúlfo' mango. Data from two orchards.

Figura 1. Longitud de hoja, valor de la derivada y periodos de estabilidad nutrimental (espacio entre las líneas verticales) para macro (A y C) y micronutrientes (B y D) en mango 'Ataúlfo'. Datos de dos huertos.

two to four months of age, although they did not specify the type of vegetative flush studied; in addition, this sampling period was proposed with a visual (graphic) criterion, not a mathematical one.

'Tommy Atkins'. The PLNS of the SpVF for macronutrients occurred from 195 to 370 DALS and from 261 to 365 DALS for micronutrients (Table 4; Figures 3A and 3B). For the AVF, the PLNS for macro and micronutrients was from 256 to 282 DALS and 258 to 284 DALS, respectively (Table 4; Figures 3C and 3D). Accordingly, the ALSP of the SpVF was from September 23 to January 5 (261 to 365 DALS) and from June 6 to 30 (258 to 282 DALS) for the AVF (Table 4). This last result differs from that mentioned by Rajput et al. (1985), since they suggest that in subtropical climates the month for sampling AVF leaves is October (April in the northern hemisphere).

No information was found available on sampling periods for mango SuVF leaves, probably because

En el FVV, el PENF para macro y micronutrientes fue entre 96 y 150 DDBH y 75 a 157 DDBH, respectivamente (Cuadro 3; Figuras 2D y 2C). De acuerdo con lo anterior, el PAMF fue del 26 de septiembre al 19 de noviembre (96 a 150 DDBH) (Cuadro 3). Los muestreos foliares son apropiados con edades de hoja entre ocho a diez meses (hojas de primavera) y tres a cinco meses (hojas de verano). Estos resultados no coinciden con los reportados por Benítez-Pardo et al. (2003), quienes para el mismo cultivar de mango, pero en el estado de Sinaloa (ubicado al norte de Nayarit), recomiendan analizar hojas de dos a cuatro meses de edad, aunque no especificaron el tipo de flujo vegetativo estudiado; además, dicho periodo de muestreo fue propuesto con un criterio visual (gráfico) y no matemático.

'Tommy Atkins'. El PENF del FVP para macronutrientes ocurrió de 195 a 370 DDBH y de 261 a 365 DDBH para micronutrientes (Cuadro 4; Figuras 3A y 3B). Para el FVO, el PENF para macro y micronutrientes fue de 256 a 282 DDBH y de 258 a 284 DDBH, respectivamente

Table 4. Period of leaf nutrient stability in days (PLNS, shaded cells) and appropriate leaf sampling period (ALSP, cells between vertical thick lines) for each vegetative flush of cv. Tommy Atkins.

Cuadro 4. Periodo de estabilidad nutrimental foliar en días (PENF; celdas sombreadas) y periodo apropiado para el muestreo foliar (PAMF; celdas entre líneas gruesas verticales) para cada flujo vegetativo del cv. Tommy Atkins.

Spring/Primavera																			ALSP/PAMS											
July/Julio				August/Agosto				September/Septiembre				October/Octubre				November/Noviembre				December/Diciembre				January/Enero				PLNS/ PENF	Date/Fecha	DALS ¹ / DDBH
N, P, K, Ca, Mg, S																									195-370	September 23-January 5/	261-365			
Fe, Cu, Mn, Zn, B																									261-365	23 de septiembre al 5 de enero	261-365			
Autumn/Otoño																			ALSP/PAMF											
May/Mayo				June/Junio				July/Julio				August/Agosto				September/Septiembre				October/Octubre				November/Noviembre				PLNS/ PENF	Date/Fecha	DALS/ DDBH
N, P, K, Ca, Mg, S																									256-282	June 6-30/ del 6 al 30	258-282			
Fe, Cu, Mn, Zn, B																									258-284	de junio	258-282			

¹Days after leaf sprouting / ¹Días después de la brotación de la hoja

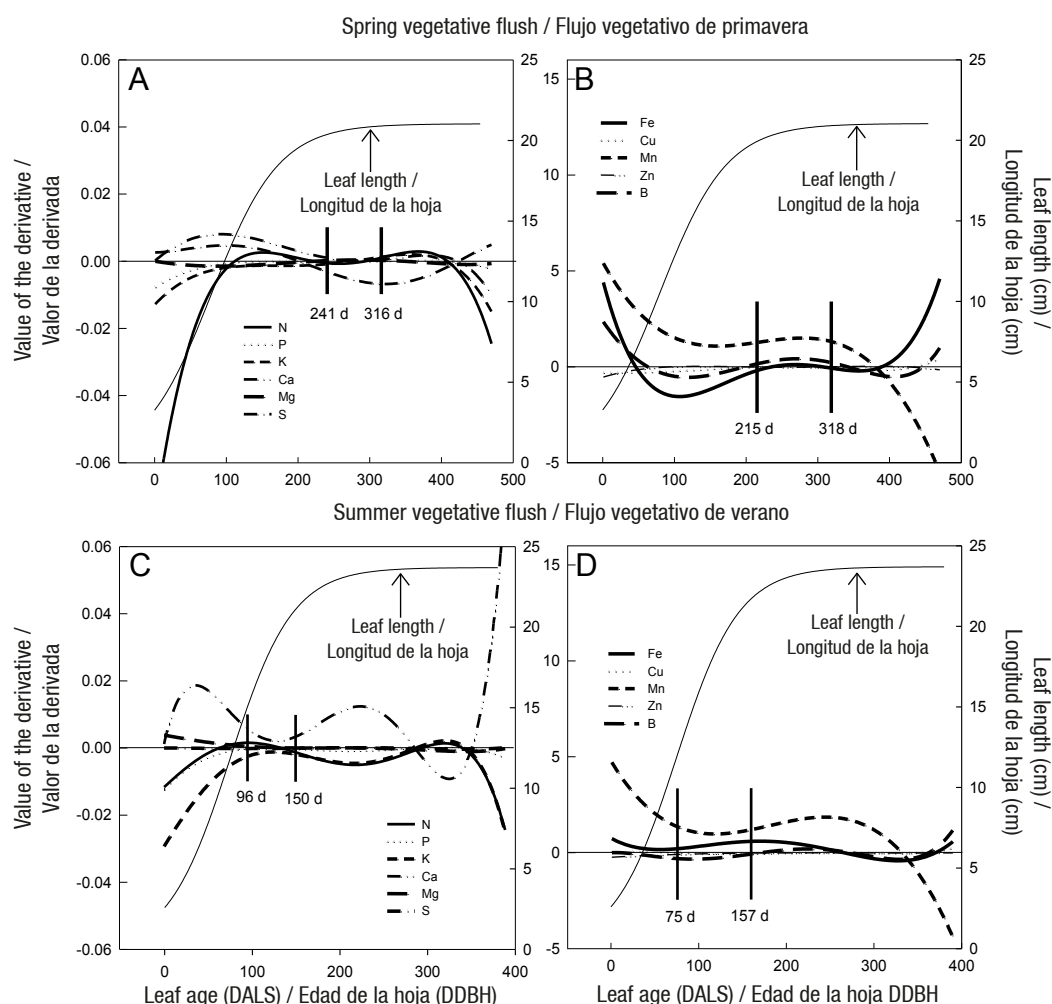


Figure 2. Leaf length, value of the derivative and periods of nutrient stability (space between the vertical lines) for macro (A and C) and micronutrients (B and D) in 'Kent' mango. Data from three orchards.

Figura 2. Longitud de hoja, valor de la derivada y periodos de estabilidad nutrimental (espacio entre las líneas verticales) para macro (A y C) y micronutrientes (B y D) en mango 'Kent'. Datos de tres huertos.

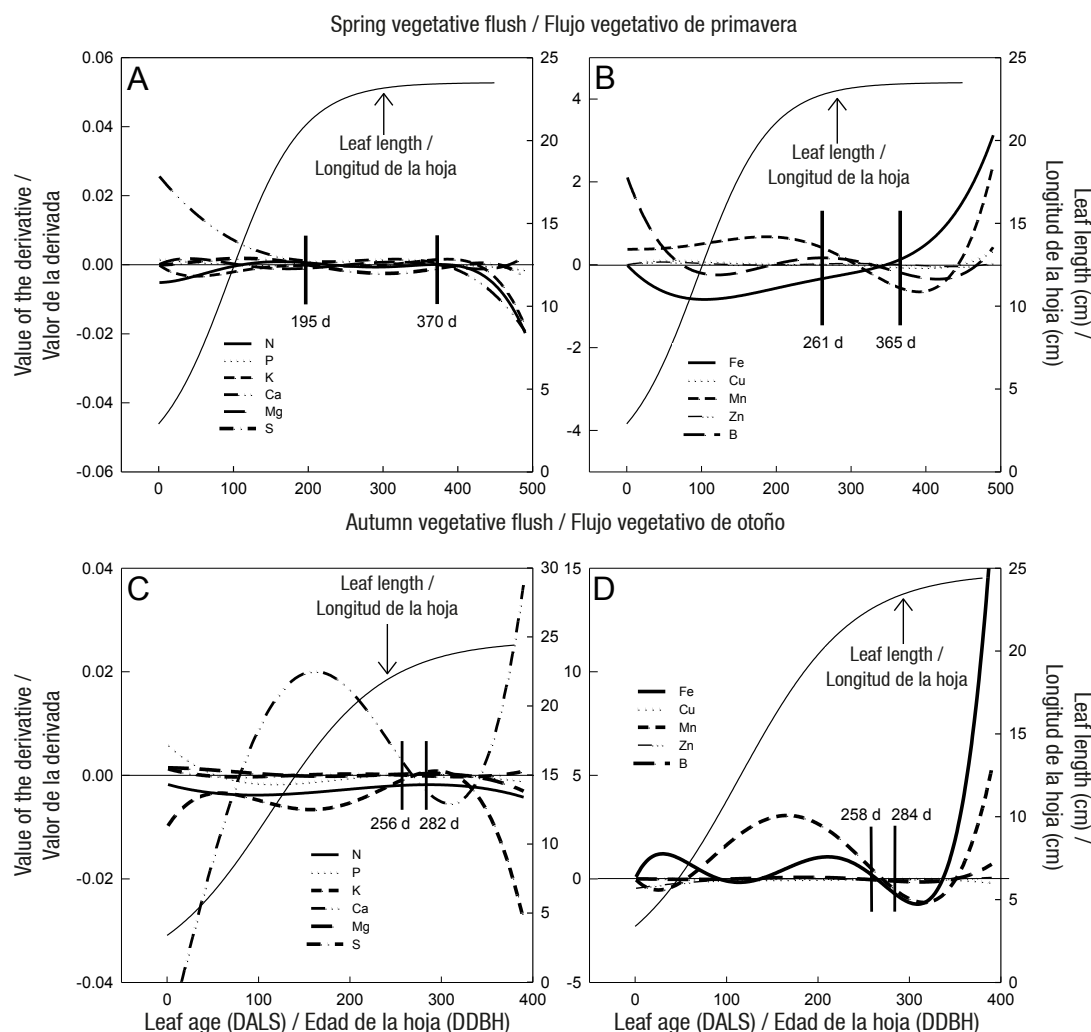


Figure 3. Leaf length, value of the derivative and period of nutrient stability (space between the vertical lines) for macro (A and C) and micronutrients (B and D) in 'Tommy Atkins' mango. Data from two orchards.
Figura 3. Longitud de hoja, valor de la derivada y periodo de estabilidad nutrimental (espacio entre las líneas verticales) para macro (A y C) y micronutrientes (B y D) en mango 'Tommy Atkins'. Datos de dos huertos.

the SpVF, which occurs after flowering, is the most important in most mango-producing regions.

Conclusions

The periods of greatest stability of the leaf nutrient concentration differed among the three mango cultivars studied, their vegetative flushes and the nutrient in question. The mathematical procedure used in this research was adequate to identify the appropriate period to perform leaf samplings for the analysis of the majority of nutrients in the three main mango cultivars (Ataulfo, Kent and Tommy Atkins) in Nayarit, Mexico.

Acknowledgments

The authors thank the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research, the Mixed Fund of the State of Nayarit (project 2005-C01-25/A-1) and

(Cuadro 4; Figuras 3C y 3D). De acuerdo con esto, el PAMF del FVP fue del 23 de septiembre al 05 de enero (261 a 365 DDBH) y del 6 al 30 de junio (258 a 282 DDBH) para FVO (Cuadro 4). Este último resultado difiere de lo mencionado por Rajput et al. (1985), ya que sugieren que en climas subtropicales el mes para realizar muestreo de hojas del FVO es octubre (abril en el hemisferio norte).

No se encontró información disponible de mango sobre periodos de muestreo para hojas del FVP; probablemente porque el FVP, que ocurre después de la floración, es el más importante en la mayoría de las regiones productoras de mango.

Conclusiones

Los periodos de mayor estabilidad de la concentración nutrimental foliar difirieron entre los tres cultivares de mango estudiados, sus flujos vegetativos y el nutriente

the National Council of Science and Technology-Institutional Regional Promotion Fund for Scientific, Technological and Innovation Development (project 115830) for funding. In addition, Mariela Castro López is thanked for her technical support, as are the producers Alvino Hernández, Juan J. Salazar, Armando Arrambide, Santos Ramos, Benito Carrillo and Alberto Ramos for making their orchards available for this research.

End of English version

References / Referencias

- Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal*. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Avilán, R. L. (1971). Variaciones de los niveles de N, P, K y Ca en las hojas de mango (*Mangifera indica* L.) a través de un ciclo de producción. *Agronomía Tropical*, 21(1), 3-10. Retrieved from http://www.sian.inia.gob.ve/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at2101/arti/avilan_l.htm
- Benítez-Pardo, D., Hernández-Montoya, M., Osuna-Enciso, M. T., Valenzuela-López, M., & Galván-Piña, B. (2003). Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. *Terra*, 21(2), 73-283. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315595013>
- Bingham, F. T. (1982). Boron. In: Miller, R. H., Keeney, D. R., & Page, A. L. (Eds.), *Methods of soil analysis, part 2* (pp. 431-446). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available phosphorus in soil. *Soil Science*, 59, 39-45. Retrieved from <http://garfield.library.upenn.edu/classics1987/A1987J041400001.pdf>
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Total nitrogen. In: Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of soil analysis. Agronomy no. 9. Part. 2* (pp. 595-694). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Castro-López, M. G., Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., Medina-Torres, R., & González-Valdivia, J. (2012). Evolución nutrimental foliar en tres cultivares de mango en Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 685-700. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000400005
- en cuestión. El procedimiento matemático empleado en la presente investigación fue adecuado para identificar el periodo apropiado para realizar los muestreos foliares para el análisis de la mayoría de nutrimentos en los tres principales cultivares de mango (Ataulfo, Kent y Tommy Atkins) en Nayarit, México.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, al Fondo Mixto del estado de Nayarit (proyecto 2005-C01-25/A-1) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (proyecto 115830) por el financiamiento. Además, se agradece el apoyo técnico de Mariela Castro López, así como de los productores Alvino Hernández, Juan J. Salazar, Armando Arrambide, Santos Ramos, Benito Carrillo y Alberto Ramos por facilitar sus huertos para la investigación.

Fin de la versión en español

- Chávez-Contreras, X., Vega-Piña, A., Tapia-Vargas, L. M., & Miranda-Salcedo, M. A. (2001). *Mango, su manejo y producción en el trópico seco de México*. Michoacán, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Dahnke, W. C. (1990). Testing soils for available nitrogen. In: Westerman, R. L. (Ed.), *Soil Testing and Plant Analysis* (pp. 120-140). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Doll, E. C., & Lucas, R. E. (1973). Testing soil for potassium, calcium and magnesium. In: Walsh, L. M., & Beaton, J. D. (Eds.), *Soil Testing and Plant Analysis* (pp. 133-152). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America.
- Draper, N. R., & Smith, H. (1981). *Applied Regression Analysis*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Enríquez, R. S. (1989). Análisis de Boro en suelos y plantas mediante el método de azometina-H. *Terra*, 7, 13-20.
- Espinoza-Aburto, J., Arias-Suárez, J. F., Miranda-Salcedo, M. A., Rico-Ponce, H. R., Mercado, J., López-Acosta, A., Vargas-Gómez, E., & Teniente-Oviedo, R. (2006). *Guía práctica para la producción de mango en Michoacán*. Michoacán, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Etchevers, B. J. D., Goijberg, G., López, R. R. M., Padilla, C. J., Alvarado-López, J., Hidalgo, M. C., Cruz, H. M. L., Guerrero P. A., Gutiérrez, B., & Miranda C. E. (2000). *Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de*

- fertilidad de suelos. Texcoco, México: Instituto de Recursos Naturales - Colegio de Postgraduados.
- García, E. (1998). *Climas (clasificación de Köppen, modificado por García), escala 1:1,000,000*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CANABIO).
- Granville, W. A., Smith, P. F., & Longley, W. R. (1963). *Elements of the differential and integral calculus*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Koo, R. C. J., & Young, T. W. (1972). Effect of age and position on the mineral composition of mango leaves. USA. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*, 97, 792-794.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428. doi:10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x
- McLean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. (pp. 133-152). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Mosqueda-Vázquez, R., de los Santos-Rosa, F., Becerra-León, E. N., Cabrera-Míreles, H., Ortega-Zaleta, D. A., & Del Ángel-Pérez, A. L. (1996). *Manual para cultivar mango en la planicie costera del golfo de México*. Veracruz: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2* (pp. 539-594). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Neter, J., Li, W., & Kutner, M. H. (1985). *Applied linear statistical models*. USA: McGraw-Hill.
- Pathak, R. A., & Pandey, R. M. (1976). Sampling for mineral content in leaves of mango cultivar 'Dashehari'. *Scientia Horticulturae*, 5(3), 255-264. doi: 10.1016/0304-4238(76)90090-X
- Ponchner, S., Rojas, R., & Bornemisza, E. (1993). Variación estacional de nutrimentos en árboles de mango (*Mangifera indica* L.) en tres suelos del Pacífico seco de Costa Rica. I. macronutrimentos. *Agronomía Costarricense*, 17(2), 21-30. Retrieved from http://www.mag.go.cr/rev_agr/v17n02_021.pdf
- Quiñones, A., Soler, E., & Legaz, F. (2013). Determination of foliar sampling conditions and standard leaf nutrient levels to assess mineral status of loquat tree. *Journal of Plant Nutrition*, 36(2), 284-298. doi: 10.1080/01904167.2012.739248
- Rajput, M. S., Chadha K. L., & Thakur, R. S. (1985). Standardization of leaf sample size for nutrient analysis in mango. *Indian Journal of Horticulture*, 42, 210-212.
- Salazar-García, S. (2002). *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Instituto de la Potasa y el Fósforo.
- Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Ibarra-Estrada, M. E. (2015). Identification of the appropriate leaf sampling period for nutrient analysis in 'Hass' avocado. *HortScience*, 50(1), 130-136. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/50/1/130.full.pdf+html>
- Salazar-García, S., Ramírez-Murillo, P. E., & Gómez-Aguilar R. (1993). Desarrollo radical de portainjertos de mango en función del cultivar injertado, la edad del árbol y la textura del suelo. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 16, 12-20.
- Samra, J. S., Chadha K. L., & Thakur, R. S. (1978). Comparison of some mango cultivars in terms of their macro-nutrient status in fruiting and non-fruiting terminals. *Indian Journal of Horticulture*, 35, 184-187.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). *Atlas agroalimentario 2016*. México, D.F.: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2009). *SAS user's guide version 9.1*. Cary: Author.
- Systat Software Inc. (2006). *SigmaPlot: Exact graphs and data analysis*. U.S.A: Author.
- Young, T. W., & Koo, R. C. (1971). *Variations in minerals of Florida mango leaves*. U.S.A.: Florida State Horticultural Society.