



ARTÍCULO / ARTICLE

EFFECTO DE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS Y EL CONTENIDO NUTRIMENTAL FOLIAR SOBRE EL CRECIMIENTO DE TECA

EFFECT OF THE EDAPHIC PROPERTIES AND FOLIAR CONTENT OF NUTRIENTS ON THE GROWTH OF TEAK TREES

Eduardo Salcedo Pérez¹, Alina Luisa Ypushima Pinedo¹, Ricardo González Cruz¹, Juan Francisco Zamora Nátera², Ramón Rodríguez Macías², Rufo Sánchez Hernández³

RESUMEN

Se evaluó el efecto de las propiedades edáficas y del contenido nutrimental foliar en el crecimiento de árboles de teca con 2 años de edad en el municipio Ruiz, Nayarit. Se eligieron tres sitios dentro de una plantación y se analizaron física y químicamente las muestras de suelo; también se determinó el porcentaje de minerales en hojas de los estratos superior e inferior del dosel, colectados en cuatro distintas épocas del año. Los resultados se correlacionaron con la altura total y el diámetro del tallo. El sustrato franco arenoso con poca materia orgánica influyó en la disminución de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y ocasionó una reducción en la concentración de nutrientes del suelo y en las hojas; todo ello derivó en un menor desarrollo tanto en la altura, como en el diámetro. El porcentaje de arcilla en el suelo se relacionó con el aumento del diámetro ($r=0.8378$), las hojas superiores tuvieron mayores porcentajes de N, P y K (2.26, 0.19 y 0.63 % respectivamente) y en las inferiores hubo más Ca; se registró variación estacional en la cantidad de Ca, Cu, Fe, Mg y Mn; fue más elevada en época seca. En cambio, el Zn se favoreció durante las lluvias; N, P y K se mantuvieron constantes todo el año; K y P incidieron de manera positiva en el crecimiento de teca.

Palabras claves: Hojas, nutrimentos, nutrición vegetal, plantaciones forestales, suelo forestal, *Tectona grandis* L. f.

ABSTRACT

The effect of the edaphic properties and of the foliar content of nutrients on the growth of 2-year old teak trees in the municipality of Ruiz, Nayarit, was assessed. Three sites within a plantation were chosen, and soil samples were physically and chemically analyzed; besides, the percentage of minerals in the leaves of the upper and lower strata of the canopy, collected at four different times of the year, was determined. The results were correlated with the total height and the stem diameter. The sandy, loamy substratum with little organic matter had an impact on the reduction of the cationic exchange capacity (CEC) and caused a reduction in the concentration of nutrients in the soil and the leaves; all this derived in a reduced development both in height and in diameter. The percentage of clay in the soil was related to the increase in diameter ($r=0.8378$); the upper leaves had higher percentages of N, P and K (2.26, 0.19 and 0.63 % respectively), and in the lower leaves there was more Ca; a seasonal variation in the amounts of Ca, Cu, Fe, Mg and Mn was registered; these increased during the dry season. On the other hand, Zn was favored during the rains; N, P and K kept constant through the year. K and P had a positive influence on teak growth.

Key words: Leaves, nutrients, vegetal nutrition forest plantations, forest soil, *Tectona grandis* L. f.

Fecha de recepción/ date of receipt: 7 de abril de 2014; Fecha de aceptación/ date of acceptance: 27 de junio de 2014.

¹ Departamento de Madera Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara. Correo-e: esalcedo@dmcp.cucei.udg.mx

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agrícolas, Universidad de Guadalajara.

³ División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de Agronomía.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado un considerable incremento en el interés por producir maderas tropicales para su utilización como materia prima en la decoración y la fabricación de muebles de alto valor comercial (OIMT, 2012. La teca (*Tectona grandis* L. f.) pertenece a la familia Berberaceae y, actualmente, es considerada como una de las especies del trópico con mayor importancia maderable (Verhaegen *et al.*, 2010), ya que su madera tiene alta estabilidad dimensional, durabilidad natural y resistencia contra hongos e insectos como las termitas (Kokutse, 2004; Miranda *et al.*, 2011); es originaria de los bosques secos y húmedos deciduos de Birmania, Laos, Filipinas, Tailandia y algunas partes de la India (Tewari, 1992; Miranda *et al.*, 2011). El aumento en su demanda ha originado una reducción en los suministros de bosques naturales (Briscoe, 1995; Anantha, 2006), y su cultivo se ha extendido en numerosos países, de tal manera que hoy en día se practica en casi toda América Central (Costa Rica, Honduras y Panamá) (Chávez y Fonseca, 1991). En México, solo 1.6 % de la superficie se destina a las plantaciones forestales comerciales, en las que también se incluye la teca (FAO, 2009), y se ubican, principalmente, en los estados de Campeche, Chiapas, Nayarit, Tabasco y Veracruz (Conafor, 2005).

Hay un gran interés por incrementar el rendimiento de *T. grandis* en el menor tiempo posible y para ello se han implementado tecnologías como riego por goteo y fertilización, entre otras (Sima, 2010). Al respecto, Afif *et al.* (2009) señalan que el éxito de la silvicultura sostenible radica en el eficiente reciclaje de nutrientes, que depende en gran medida, de características del sustrato como el porcentaje de materia orgánica y su dinámica de mineralización, el pH, la textura y la profundidad efectiva.

Cuando las condiciones climáticas son homogéneas, muchos estudios regionales se enfocan en estimar la influencia de las propiedades edáficas (físicas y químicas) sobre la productividad; por otro lado, el análisis foliar se considera muy útil para relacionar al suelo con el estado nutricional del arbolado (Afif *et al.*, 2009). En este sentido, Correndo y García (2012) señalan que puede ser muy útil evaluar las plantas con ayuda de tecnologías agrícolas de precisión usadas para diagnosticar las necesidades de los cultivos; no obstante es importante tener en cuenta que no reemplazan el estudio edáfico y otras herramientas de diagnóstico, sino que son complementarias.

Existen varios procedimientos para interpretar los resultados de la evaluación del tejido vegetal, sin embargo, en México no hay antecedentes sobre requerimientos nutrimentales para la mayoría de los árboles tropicales comerciales, tanto endémicos como de reciente introducción (López y Estañol, 2007). A pesar de que se ha generado conocimiento sobre

INTRODUCTION

In recent years, interest in producing tropical woods to be used as raw material in decoration and in the manufacture of furniture with a high commercial value has increased considerably (OIMT, 2012). Teak (*Tectona grandis* L. f.) belongs to the Berberaceae family, and it is currently considered one of the species of the tropic with the highest timber value (Verhaegen *et al.*, 2010), because its wood has a large degree of dimensional stability, natural durability and resistance against fungi and insects like termites (Kokutse, 2004; Miranda *et al.*, 2011); it is native to the dry, humid deciduous forests of Burma, Laos, Philippines, Thailand and certain parts of India (Tewari, 1992; Miranda *et al.*, 2011). The increasing demand of it has brought about a reduction of natural forest supplies (Briscoe, 1995; Anantha, 2006), and its cultivation has spread in many countries, so that it is practiced today in almost all the countries of Central America (Costa Rica, Honduras and Panama) (Chávez and Fonseca, 1991). In Mexico, only 1.6% of the area is intended for commercial forest plantations, where teak is also included commercial teak forest plantations (FAO, 2009), located mainly in the states of Campeche, Chiapas, Nayarit, Tabasco and Veracruz (Conafor, 2005).

There is great interest in increasing the yield of *T. grandis* in as little time as possible, and various technologies including drip irrigation and fertilization have been implemented for this purpose (Sima, 2010). In this respect, Afif *et al.* (2009) point out that the success of sustainable forestry lies in the efficient recycling of nutrients, which depends to a large extent on such characteristics of the substratum as the percentage of organic matter, the mineralization dynamics, and the pH, texture and effective depth.

When the climate conditions are homogenous, many regional studies focus on estimating the influence of the edaphic (physical and chemical) properties on the productivity; on the other hand, the foliar analysis is considered to be of great use to relate the soil to the nutritional status of the trees (Afif *et al.*, 2009). In this sense, Correndo and García (2012) point out that it would be very helpful to evaluate the plants using precision agricultural technologies to diagnose the needs of the crops; however, it is important to take into account that these do not replace but are complementary to the edaphic study or other diagnose tools.

There are several procedures for interpreting the results of the assessment of the vegetal tissue; nevertheless, in Mexico there are no records regarding the nutritional requirements of most commercial tropical trees, both endemic and recently introduced (López and Estañol, 2007). Although some knowledge of certain nutritional aspects of teak has been generated, additional information still needs to be obtained. In the national territory, teak plantations are relatively young (under 20 years of age) and they occupy an increasingly larger forest surface;

aspectos nutrimentales de teca, aún es necesario obtener información adicional sobre el particular. En el territorio nacional las plantaciones son relativamente jóvenes (menores a 20 años) y ocupan cada vez más superficie forestal; se registra un aumento de 141 ha en 2001, a un total acumulado para 2013 de casi 20 000 ha, lo cual representa más de 12 % y sustituye a otras especies nativas que registran áreas más pequeñas. (Conafor, 2013).

En plantaciones de teca jóvenes de Campeche, Sima (2010) consigna una relación entre el desarrollo y la concentración de CE (conductividad eléctrica), NO_3 , K, Cu, y Ca en el suelo, y señaló que el porcentaje de nutrimentos en el follaje fue superior a los niveles de suficiencia que consideran Drechsel y Zech (1991).

El objetivo del presente trabajo consistió en relacionar las propiedades físicas y químicas del suelo, así como el contenido nutrimental foliar de árboles con 2 años de *T. grandis* con el crecimiento (altura y diámetro del tallo).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en el municipio Ruiz, que se sitúa en la región norte-centro de Nayarit; su clima corresponde al cálido subhúmedo, con lluvias en verano (junio a septiembre), que fluctúan entre 979 y 2 170 mm, y agosto es el mes con mayor precipitación promedio (Inafed, 2009). Los suelos presentan una pendiente menor a 4 %; su textura es franco arenosa y los valores de pH oscilan de 5.3 a 6.1.

Se seleccionó una plantación de teca de dos años de edad con una superficie de 50 hectáreas; su localización corresponde a las coordenadas geográficas 22° 10' 21" 52' N y 104° 47' 105° 14' O; la altitud media es de 30 m. El arreglo topológico de la plantación corresponde al de marco real, con un espaciamiento entre especímenes de 3 x 3 m.

Obtención de las muestras

Dentro de la zona de plantación se eligieron tres sitios, cada uno con 50 árboles; el criterio para su elección consistió en que el tamaño de los individuos fuera contrastante. Las variables de crecimiento se midieron en la totalidad de los ejemplares de cada lugar. Para el análisis foliar el diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial de 4 x 3 x 2, en el cual, el primer factor correspondió a las fechas de muestreo; el segundo, a los sitios, y el tercero, a la distribución vertical de las hojas (superior e inferior). La medición de la altura y el diámetro de tallo, así como la obtención de hojas se hicieron en cuatro fechas (diciembre, abril, julio y octubre). Las

an increase from 141 has in 2001 to an accumulated total of nearly 20 000 has in 2013 has been registered; this represents more than 12 % and the replacement of other native species which now occupy smaller areas (Conafor, 2013).

In young teak plantations of Campeche, Sima (2010) observes a relationship between the development and the soil concentrations of EC (electric conductivity), NO_3 , K, Cu, and Ca, and points out that the percentage of nutrients in the foliage surpass the levels of sufficiency considered by Drechsel and Zech (1991).

The objective of this work was to relate the physical and chemical properties of the soil, as well as the foliar content of nutrients of 2 year old *T. grandis* trees, to growth in height and stem diameter.

MATERIALS AND METHODS

Study area

This research was carried out in the municipality of Ruiz, in the north central region of Nayarit, which has a warm subhumid climate with summer rains (June through September) that range between 979 and 2 170 mm, August being the month with the highest average precipitation (Inafed, 2009). The soils have a slope of less than 4 %; their texture is sandy loamy, and the values of their pH range between 5.3 and 6.1.

A 2 year old teak plantation with a surface of 50 has was selected; its location corresponds to the geographical coordinates 22° 10' 21" 52' N and 104° 47' 105° 14' W; the mean altitude is 30 m. The topological arrangement of the plantation corresponds to that of the actual framework, with a spacing of 3 x 3 m between specimens.

Sample collection

Three sites were selected within the plantation area, each with 50 trees; the criterion for choosing them was that the size of the individuals should be unequal. The growth variables were measured in all the specimens of each site. For the foliar analysis, the experimental design was completely randomized, with a factorial arrangement of 4 x 3 x 2, where the first factor was the sampling dates; the second, the sampling sites, and the third, the vertical (upper and lower) distribution of the leaves. The height and stem diameter were measured and the leaves were collected on four different dates (December, April, July and October). The leaves were collected from 10 individuals located at the center of each site in order to obtain young organs (upper stratum) and mature organs (lower stratum) and they were prepared for assessment with the methodology proposed by Alcántar and Sandoval (1999). The diameter was measured

hojas se colectaron en 10 individuos ubicados en la parte central de cada sitio, para obtener órganos jóvenes (estrato superior), y maduros (estrato inferior) y se prepararon para su evaluación según la metodología propuesta por Alcántar y Sandoval (1999). El diámetro se obtuvo en la base del tallo (3 cm sobre el terreno) con vernier digital; la altura de la planta, con un flexómetro para los dos primeros registros y uno estadal graduado (cm) para los subsecuentes.

Caracterización del suelo

Al inicio del experimento se colectó suelo de cada parcela, a 40 cm de profundidad, y a partir de ello, se determinó la textura (con la técnica del hidrómetro de Bouyoucos), el pH (con un potenciómetro *Orion research 301 Analog Bench pH Meter*, con una suspensión suelo: agua (1:2)); la conductividad eléctrica (se utilizó un conductímetro *Hanna Instruments HI 2316*), la cantidad de materia orgánica (según la metodología de Walkley y Black (1934) y la capacidad de intercambio de cationes (de acuerdo con el procedimiento de acetato de amonio), todo ello, con base en los métodos descritos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002).

Contenido nutrimental en las hojas

Se determinó el porcentaje foliar de: calcio (Ca), cobre (Cu) hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn) potasio (K) y zinc (Zn), por medio de espectroscopía de absorción atómica, con un espectrofotómetro *Varian AA240FS*; se aplicó digestión húmeda con HNO_3 (1:1) y HCl (1:1). El fósforo (P) se obtuvo con el método de molibdovanadato de amonio con un espectrofotómetro ultravioleta/visible *LaboMed.inc® Spectro 23 RS*. La cantidad de nitrógeno (N), tanto para el suelo como para las hojas, se cuantificó por método Kjeldahl.

La información se sometió a un análisis de varianza (ANOVA), pruebas de comparación de Medias de Rangos Múltiples ($P < 0.05$) y análisis de correlación, para los cuales se utilizó el paquete *Statgraphics Plus* (Statistical Graphics Corp., 1994-1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización edáfica

Las variables edáficas de los sitios mostraron diferencias en algunas de sus propiedades físicas y químicas, que los hacen contrastantes (Cuadro 1).

at the stem base (3 cm on the ground) with a digital Vernier caliper; the height of the plant, with a flexometer for the first two individuals registered and a graduated (cm) clinometer for the subsequent individuals.

Soil characterization

At the beginning of the experiment, soil was collected from each plot, at a depth of 40 cm and its characteristics were determined as follows: the texture, using the Bouyoucos hydrometer technique; the pH, with a potentiometer *Orion research 301 Analog Bench pH Meter*, using a 1:2 soil/water suspension; the electric conductivity, with a *Hanna Instruments HI 2316* conductimeter; the amount of organic matter, using the method of Walkley and Black (1934), and the cation exchange capacity, utilizing the ammonium acetate procedure, all of this according to the methods described in the NOM-021-SEMARNAT-2000 norm (Semarnat, 2002).

Leaf content of nutrients

The foliar percentage of calcium (Ca), copper (Cu), iron (Fe), magnesium (Mg), manganese (Mn), potassium (K) and zinc (Zn) was determined by atom absorption spectroscopy using a *Varian AA240FS* spectrometer; humid digestion was applied with HNO_3 (1:1) and HCl (1:1). The phosphorus (P) percentage was calculated with the ammonium molybdovanadate method using a *LaboMed.inc® Spectro 23 RS UV/visible* spectrometer. The content of nitrogen (N) both in the soil and in the leaves was quantified using the Kjeldahl method.

The information was subjected to a variance analysis (ANOVA), multiple-range means comparison tests ($P < 0.05$) and correlation analyses for which the *Statgraphics Plus* package was used (Statistical Graphics Corp., 1994-1999).

RESULTS AND DISCUSSION

Edaphic characterization

The edaphic variables of the sites showed differences in some of their physical and chemical properties, which render them unequal (Table 1).



Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los sitios donde se estableció la plantación de *Tectona grandis* L. f.

Características	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Arena (%)	41	67	46
Arcilla (%)	34	16	30
Limo (%)	25	17	24
Textura	Franco arcilloso	Franco arenoso	Franco areno - arcilloso
pH	5.7	5.8	5.4
CE (dS m ⁻¹)	0.51	0.54	0.59
MO (%)	3.5	2.4	3.1
CIC (meq100g ⁻¹)	35.3	19.2	31.2
P (cmol ⁺ L ⁻¹)	18	21	42
Ca (cmol ⁺ L ⁻¹)	26.74	21.5	22.6
Mg (cmol ⁺ L ⁻¹)	21.0	10.5	12.9
K (cmol ⁺ L ⁻¹)	2.5	1.21	3.42

CE= conductividad eléctrica; MO= de materia orgánica; CIC= capacidad de intercambio catiónico.

Table 1. Physical and chemical properties of the sites where the *Tectona grandis* L. f. plantation was established.

Characteristics	Site 1	Site 2	Site 3
Sand (%)	41	67	46
Clay (%)	34	16	30
Silt (%)	25	17	24
Texture	Clayey loam	Sandy loam	Sandy clayey loam
pH	5.7	5.8	5.4
EC (dS m ⁻¹)	0.51	0.54	0.59
OM (%)	3.5	2.4	3.1
CEC (meq100g ⁻¹)	35.3	19.2	31.2
P (cmol ⁺ L ⁻¹)	18	21	42
Ca (cmol ⁺ L ⁻¹)	26.74	21.5	22.6
Mg (cmol ⁺ L ⁻¹)	21.0	10.5	12.9
K (cmol ⁺ L ⁻¹)	2.5	1.21	3.42

EC = electric conductivity; OM = organic matter; CEC = cation exchange capacity.

Teca grandis en condiciones naturales puede crecer en diversos tipos de suelo, pero se desarrolla mejor sobre los franco-arcillosos-arenosos (Briscoe, 1995), si el contenido de arcilla aumenta, dejan de ser favorables; Jha (1999) registró que los porcentajes más adecuados son 21 a 50 % de arcilla, 22 a 40 % de limo y 10 a 57 % de arena. Los resultados que se obtuvieron respecto a estos porcentajes permiten clasificar a los

Under natural conditions, *Tectona grandis* can grow in various types of soil, but it develops better on sandy clayey loams (Briscoe, 1995); when the content of clay increases, the soil ceases to be favorable; according to Jha (1999), the most adequate percentages are 21 to 50 % clay, 22 to 40 % silt, and 10 to 57 % sand. The results obtained for these percentages make it possible to classify sites 1 and 3 within the optimal intervals (Table 1); in



sitios 1 y 3 dentro de los intervalos óptimos (Cuadro 1); en el sitio 2 hubo afectación negativa en algunas variables edáficas (CIC, $r=-0.99^{**}$; y MO, $r=-0.97^{*}$), ya que la arena tuvo un valor de 67. La influencia de CIC y MO (en la cantidad y disponibilidad de nutrimentos) que explica el menor crecimiento en altura y diámetro del tallo de los individuos en el sitio 2 (Cuadro 2).

site 2 the high percentage of sand (67 %) had a negative impact on certain edaphic variables (CEC, $r=-0.99^{**}$; and OM, $r=-0.97^{*}$). The influence of the CEC and the OM (the amount and availability of nutrients) accounts for the reduced growth in height and stem diameter of the individuals in site 2 (Table 2).

Cuadro 2. Crecimiento inicial y final de los árboles de *Tectona grandis* L. f. en los sitios.

Muestreos	Altura (m)			Diámetro (cm)		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 2
Diciembre	1.34	0.66	1.49	3.13	1.87	3.57
Abril	1.52	0.78	1.65	3.95	2.12	3.84
Julio	2.95	1.34	2.72	4.88	2.96	4.25
Octubre	4.51	3.25	4.47	6.98	3.89	5.91
Crecimiento acumulado	3.15	2.59	2.90	3.85	2.02	2.34

Table 2. Initial and final growth of *Tectona grandis* L. f. trees in the sites.

Samplings	Height (m)			Diameter (cm)		
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 2
December	1.34	0.66	1.49	3.13	1.87	3.57
April	1.52	0.78	1.65	3.95	2.12	3.84
July	2.95	1.34	2.72	4.88	2.96	4.25
October	4.51	3.25	4.47	6.98	3.89	5.91
Accumulated growth	3.15	2.59	2.90	3.85	2.02	2.34

El pH es importante para el desarrollo de *T. grandis*, sin embargo la información sobre sus niveles óptimos es muy variable: Drechsel y Zech (1991) citan que el crecimiento es más bajo cuando el pH es inferior a 4.3 y es independiente de la edad de la plantación, Montero (1999) indica que el pH adecuado es mayor a 5.5; otros autores como Mollinedo *et al.* (2005) observaron los mejores incrementos medios anuales en altura cuando los suelos tuvieron pH entre 5.0 y 6. En el presente estudio varió de 5.4 a 5.8 (Cuadro 2), el cual está por debajo de los intervalos registrados en otros sustratos en los que se cultiva teca, como en Tabasco y Campeche (6.5 a 7.5) (Sima, 2010; Balam, 2013). Los árboles evaluados no mostraron efectos adversos provocados por la acidez, como podrían ser: segmentos con crecimiento cortísimo y entrenudos muy cercanos a la región apical; coloración amarilla generalizada en los ápices, hojas necrosadas en los bordes en su totalidad (Alvarado y Fallas, 2004).

La conductividad eléctrica (CE) es una variable edáfica de suma importancia, ya que se relaciona con la absorción de nutrimentos y agua (Rodríguez, 1996). Jha (1999) documenta

pH is important for the development of *T. grandis*; however, the information regarding its optimal levels is very variable: Drechsel and Zech (1991) cite that there is less growth when the pH is below 4.3 regardless of the age of the plantation; Montero (1999) points out that the adequate pH is above 5.5, and other authors like Mollinedo *et al.* (2005) have observed better annual mean increases in height when the soil pH is 5.0 to 6. In the present study, the pH ranged between 5.4 and 5.8 (Table 2), a value below the intervals registered for other substrata where teak is cultivated, e.g. in Tabasco and Campeche (6.5 to 7.5) (Sima, 2010; Balam, 2013). The evaluated trees showed no adverse effects due to acidity, such as the presence of segments with very little growth and internodes near the apical region; widespread yellowing in the apices, and necrotized leaves at the edges of the whole tree (Alvarado and Fallas, 2004).

Electric conductivity (EC) is a highly important edaphic variable because it is related to the absorption of nutrients and water (Rodríguez, 1996). Jha (1999) cites that the most productive teak plantations in certain regions of India have soils with an EC of 0.03 to 0.14 dS m⁻¹, while Sima (2010) registers higher

que las plantas de teca más productivas en regiones de India tienen suelos con una CE de 0.03 a 0.14 dS m⁻¹; por su parte, Sima (2010) registra valores superiores (0.27 a 0.80 dS m⁻¹) en Campeche, México. Los resultados calculados en este estudio correspondieron al intervalo entre 0.51 y 0.59 dS m⁻¹ y no fue un factor limitante para el desarrollo de los árboles.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) influye directamente sobre el contenido de materia orgánica (MO) y de arcilla del suelo (Salcedo *et al.*, 2005); de acuerdo con Fassbender (1986) los intervalos más comunes en sustratos tropicales oscilan entre 25 y 40 meq100g⁻¹, estos son considerados como altos; aquellos que varían de 10 a 25 meq100g⁻¹, se clasifican como medios; y los menores a 10 meq100g⁻¹ corresponden a bajos. El sitio 1 presentó un CIC de 35.3 meq100g⁻¹, le siguió el sitio 3 con 31.2 meq100g⁻¹ y el sitio 2, con 19 meq100g⁻¹ (Cuadro 1); por lo tanto los sitios 1 y 3 tienen CIC altos, mientras que en el sitio 2, podría ser limitante para el crecimiento de teca. Los lugares con mayor porcentaje de arcilla tuvieron una correlación altamente significativa (P<0.01), con CIC de 0.8017 (P<0.05) y con MO de 0.9638.

En cuanto a las bases intercambiables, el Ca registró poca variación entre los tres lugares (de 20.5 a 26.7 cmol⁽⁺⁾L⁻¹); el sitio 1 tuvo más Mg (21.0 cmol⁽⁺⁾L⁻¹) y al sitio 3 le correspondió el valor más alto de K (3.42 cmol⁽⁺⁾L⁻¹). El sitio 2 registró la menor cantidad de bases (especialmente K y Mg), lo que incidió en que los árboles crecieran menos; de acuerdo con Bebartá (1999), la teca tiene preferencia por suelos con alta concentración de bases intercambiables (Ca y Mg), Mollinedo (2003) menciona que un buen crecimiento requiere de, al menos, entre 8 y 10 cmol⁽⁺⁾L⁻¹, y es aún mejor, si las cifras son superiores. El efecto favorable del calcio y magnesio en el desarrollo de *Tectona grandis* en suelos ácidos (Hase y Foelster 1983; Alvarado y Fallas, 2004) se atribuye a que la planta crece en su lugar de origen en sustrato derivado de materiales parentales básicos (calizas y aluviales fértiles).

Se ha determinado que hay una correlación significativa y positiva entre el Ca y Mg en el suelo en Costa Rica y Panamá (Vallejos, 1996; Montero, 1999; Mollinedo, 2003), lo cual coincide con los resultados de Sima (2010) en Tabasco y Campeche. Bertsch (1995) registró deficiencias de P en la mayoría de los suelos donde se cultiva teca en Costa Rica, esto concuerda con los bajos registros de P obtenidos en el presente estudio (Cuadro 1), lo cual se atribuye al pH, ya que cuando es más ácido, el hierro (Fe) y el aluminio (Al) se manifiestan como sesquióxidos hidratados coloidales con una alta capacidad de adsorción de P (Rodríguez, 1996).

Las propiedades físicas y químicas de los suelos analizados corresponden a los valores considerados como normales por otros autores (Drechsel y Zech, 1991; Mollinedo, 2003; Sima, 2010).

values (0.27 to 0.80 dS m⁻¹) in *Campeche*, Mexico. According to the findings of the present study, the EC ranged between 0.51 and 0.59 dS m⁻¹; yet, this did not prove to be a limiting factor for the development of the trees.

The cation exchange capacity (CEC) exerts a direct influence on the soil content of organic matter (OM) and of clay (Salcedo *et al.*, 2005); Fassbender (1986) writes that the most common intervals in tropical substrata range between 25 and 40 meq100g⁻¹, which are considered to be high values; intervals ranging between 10 and 25 meq100g⁻¹ are classified as medium, and those below 10 meq100g⁻¹ are low. Site 1 had a CEC of 35.3 meq100g⁻¹; it was followed by Site 3, with 31.2 meq100g⁻¹, and Site 2, with 19 meq100g⁻¹ (Table 1); thus, Sites 1 and 3 have high CECs, while Site 2 might be limiting for teak growth. The sites with the highest percentage of clay had a markedly significant correlation (P<0.01), with a CEC of 0.8017 (P<0.05), and an OM content of 0.9638.

As for exchangeable bases, Ca registered little variation between sites (from 20.5 to 26.7 cmol⁽⁺⁾L⁻¹); Site 1 had a larger amount of Mg (21.0 cmol⁽⁺⁾L⁻¹), and Site 3 had the highest content of K (3.42 cmol⁽⁺⁾L⁻¹). Site 2 had the lowest amount of bases (especially K and Mg), which caused a reduced tree growth; according to Bebartá (1999), teak has a preference for soils with a high content of exchangeable bases (Ca and Mg), and Mollinedo (2003) mentions that a good growth requires at least 8 to 10 cmol⁽⁺⁾L⁻¹ and is even better with higher values. The favorable effect of calcium and magnesium on the development of *Tectona grandis* on acid soils (Hase and Foelster 1983; Alvarado and Fallas, 2004) is ascribed to the fact that the plant grows at its place of origin on a substratum derived from basic parental materials (limestone and fertile alluviums).

A significant and positive correlation has been determined to exist between calcium and magnesium in the soil of Costa Rica and Panama (Vallejos, 1996; Montero, 1999; Mollinedo, 2003); this agrees with the results obtained by Sima (2010) in Tabasco and Campeche. Bertsch (1995) registered differences in P in most of the soils where teak is cultivated in Costa Rica; this agrees with the low P registers found in the present study (Table 1), which may be attributed to the pH, for when it is more acid, iron (Fe) and aluminum (Al) occur as hydrated colloidal sesquioxides with a high P absorption capacity (Rodríguez, 1996).

The physical and chemical properties of the soils analyzed correspond to values that are regarded as normal by other authors (Drechsel and Zech, 1991; Mollinedo, 2003; Sima, 2010).

Foliar content of nutrients

There were significant differences in the quantity of macronutrients in terms of the position of the leaves and of the sampling site (Table 3); those in the upper stratum (younger leaves) had

Contenido nutrimental en las hojas

Hubo diferencias significativas en la cantidad de macronutrientes, en función de la posición de la hoja y el sitio de muestreo (Cuadro 3); las del estrato superior (más jóvenes) tuvieron mayor concentración de N, P y K, lo cual se ha observado en otras especies y se relaciona con la movilidad preferencial de estos en el sistema vascular: de los tejidos más viejos hacia los más jóvenes (Alcántar y Trejo, 2007). En contraste, los elementos inmóviles Ca y Mn estuvieron en porcentajes más altos en las hojas de edades avanzadas (estrato inferior); los demás nutrimentos evaluados no mostraron diferencias significativas por efecto de la posición en el dosel.

a higher concentration of N, P and K; this has also been observed in other species and is related to the preferential mobility of these nutrients through the vascular system from the older to the younger tissues (Alcántar and Trejo, 2007). In contrast, the immobile elements Ca and Mn were found in higher percentages in the older leaves (lower stratum); other assessed nutrients showed no differences due to leaf position in the canopy.

According to the correlation analysis, the content of P had a positive effect on the increase in height ($r=0.86^*$) and in stem diameter ($r=0.86^*$); K also had a positive effect on the latter ($r=0.80^*$). The sampling site was a relevant factor for

Cuadro 3. Contenido promedio de nutrientes en hojas de *Tectona grandis* L. f.

Table 3. Average content of nutrients in *Tectona grandis* L. f. leaves

Factores	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	(%)			mg kg ⁻¹					
HES [†]	2.26a [§]	0.197a	0.630a	1.30b	0.36	92.2b	139.2	43.8	50.84
HEI	1.87b	0.142b	0.218b	1.79a	0.45	124.1a	151.9	42.3	40.21
Sitio 1	2.27a	0.17	0.43	1.49	0.47a	97.0b	146.3	53.2a	53.8
Sitio 2	1.97b	0.18	0.48	1.73	0.30b	73.0c	136.7	36.3b	43.8
Sitio 3	1.94b	0.15	0.36	1.41	0.42a	154.8a	152.3	41.4b	46.2
M 1	1.99	0.15	0.359ab	1.95 a	0.54a	184.6a	178.2a	69.5a	29.5c
M 2	2.01	0.14	0.262b	2.02 a	0.63a	99.8b	188.0a	49.6a	42.5 b
M 3	2.22	0.18	0.518a	1.03 b	0.20b	87.3b	114.6b	28.3b	78.6a
M 4	2.04	0.19	0.559a	1.18 b	0.23b	62.3b	99.9b	27.3b	51.12a
CV	16.8	21.2	32.5	19.7	15.4	11.7	15.4	18.5	9.7

Valores con la misma letra para cada factor son estadísticamente iguales. HES = Hojas del estrato superior; HEI = Hojas del estrato inferior; M = muestreo. Values with the same letter for each factor are statistically equal. USL= Upper stratum leaves; LSL= Lower stratum leaves; S= sampling.

De acuerdo con el análisis de correlación, el contenido de P afectó de manera positiva el aumento en altura ($r=0.86^*$) y diámetro del tallo ($r=0.86^*$), además y en este último, el K también incidió positivamente ($r=0.80^*$). El sitio de muestreo fue un factor importante en el porcentaje de micronutrientes Mn y Cu y para los macronutrientes, solo en el N y Mg. En el sitio 1, los árboles se caracterizaron por poseer altas concentraciones de N y Mg, ambos elementos constituyentes del tejido vegetal, lo cual puede relacionarse con más contenido de MO en el suelo que al mineralizarse, libera mayor cantidad de N y Mg. En el sitio 2 los individuos de teca registraron los valores más reducidos de micronutrientes, lo que coincidió con una CIC baja.

the percentage of the micronutrients Mn and Cu and for the macronutrients N and Mg. In Site 1 the trees were characterized by high concentrations of N and Mg; both these elements are constituents of the vegetal tissue, which can be related to a higher soil content of OM that liberates a larger amount of N and Mg as it mineralizes. In Site 2, teak individuals registered the lowest values for micronutrients, which coincided with a low CEC.

La fecha en la que se tomaron las muestras fue el factor más influyente sobre los nutrientes (excepto para N y P); elementos como Ca, Mg, Mn, Fe y Cu se acumularon más en el tejido foliar durante la época seca (noviembre a mayo), y K y Zn tuvieron

The sampling date was the factor that most influenced the nutrients (except for N and P); elements like Ca, Mg, Mn, Fe and Cu accumulated in larger quantities in the foliar tissue during the dry season (November through May), while K and Zn did so during the rainy season. Because teak is a deciduous plant, it requires K and Zn during the period with the highest precipitation in order to resume the metabolic activity related to the vegetal development, since K is involved in enzyme stimulation, and Zn, in the synthesis of growth substances (Rodríguez, 1996).

porcentajes superiores en la temporada de lluvias. Dado que la teca es una planta caducifolia requiere del K y el Zn durante el periodo de mayor precipitación para reanudar la actividad metabólica que se relaciona con el desarrollo vegetal, ya que intervienen en la estimulación enzimática (K) y en la síntesis de sustancias de crecimiento (Zn) (Rodríguez, 1996).

Las concentraciones nutrimentales cuantificadas en las hojas corresponden a los intervalos de suficiencia generados por Drechsel y Zech (1991) para plantaciones menores a 5 años en África, y son similares a los de Montero (1999) y Mollinedo *et al.* (2005) para Costa Rica y Panamá, respectivamente. El caso del potasio (K= 10 %) fue inferior al consignado en esos trabajos, pero no afectó el crecimiento de las plantas; Sima (2010) también obtuvo valores bajos en Campeche México y señala que dicha condición es compartida por 80 % de las plantaciones del estado.


Hubo una correlación estadísticamente significativa entre la concentración foliar promedio de P y K, y las variables de crecimiento altura ($r=0.86$) y diámetro ($r=0.80$); los individuos con mayor proporción de P (0.48 %) y K (0.78 %) en las hojas tuvieron los mejores crecimientos, específicamente, el potasio con el diámetro P ($r = 0.74^*$); lo mismo que el Fe ($r = -0.71^*$); mientras que el P, con la altura.

Parte fundamental de la variación en el desarrollo de *T. grandis* en Nayarit se explica por la cantidad de P y K, lo cual concuerda con Montero (1999), quien menciona que los árboles de teca demandan una gran cantidad de esos elementos durante sus primeras etapas de vida. Otros autores indican que el P está limitado, especialmente en rodales de mayor edad (Mothes *et al.*, 1991).

CONCLUSIONES

El contenido foliar del potasio (K) fue menor al que han consignado otros autores, sin embargo, no se observó que esto limitara el crecimiento, ni se evidenciaron síntomas por su deficiencia. Los mayores contenidos de N, P y K se presentaron en las hojas jóvenes, pero sin efecto por la época de muestreo para N y P foliar.

Respecto al crecimiento, hubo una correlación significativa entre la cantidad de fósforo (P) foliar y la altura de la planta, así como la del potasio (K) con el diámetro del tallo.

En cuanto a las variables edáficas, el contenido de arcilla tuvo una correlación positiva con el desarrollo del diámetro en el tallo; los suelos con mayor proporción de arcilla y materia orgánica (MO) registraron mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC), que favoreció el crecimiento de la planta de teca en Nayarit. 

The nutrient concentrations quantified in the leaves correspond to the sufficiency intervals estimated by Drechsel and Zech (1991) for plantations of under 5 years in Africa and are similar to those determined by Montero (1999) and Mollinedo *et al.* (2005) for Costa Rica and Panama, respectively. The concentration of potassium (K= 10 %) was lower than the levels registered in this study, but this did not affect the growth of the plants; Sima (2010) also obtained low values in Campeche, Mexico, and she points out that this condition is shared by 80 % of the plantations in the state.


There was a statistically significant correlation between the average foliar concentration of P and K and the growth variables height and diameter; the individuals with a higher proportion of P (0.48 %) and K (0.78 %) in the leaves had better growths; specifically, potassium and iron increased growth in diameter (P ($r = 0.74^*$) and Fe ($r = -0.71^*$)), while phosphorus enhanced growth in height.

An essential part of the variation in the development of *T. grandis* in Nayarit is accounted for by the amounts of P and K; this agrees with the findings of Montero (1999), who mentions that teak trees demand a large quantity of these elements during the early stages of their life. Other authors point out that the amount of P is limited, particularly in older stands (Mothes *et al.*, 1991).

CONCLUSIONS

The foliar content of potassium (K) was lower than that registered by other authors; however, this was not observed to limit growth, and there were no evidences of symptoms due to deficiency of this element. The highest contents of nitrogen (N), phosphorus (P) and K occurred in young leaves, but without effect by the time of sampling for N and P foliar.

With respect to growth, there was a significant correlation between the foliar content of phosphorus (P) and the height of the plant, as well as between the concentration of potassium (K) and the stem diameter.

As for the edaphic variables, the clay content showed a positive correlation to the development of stem diameter. Soils with higher proportions of clay and organic matter (OM) registered a higher cation exchange capacity (CEC), which favored the growth of the teak plant in Nayarit. 



AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio Ambiental y de Abonos Orgánicos, al M. C. Sergio Honorio Contreras y al Ing. Isaías Pedroza Rangel por su valioso apoyo en los análisis foliares, al personal del laboratorio de agrología, en especial, a la M.C. Josefina Leticia Fregoso Franco del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. A la empresa Agronayarita y su director, Lic. Álvaro Navarro y el personal por la colaboración en la presente investigación.

REFERENCIAS

- Aff K., E., E. Canga L., J. A. Oliveira P., J. J. Gorgoso V. y M. A. Cámara O. 2009. Crecimiento anual en volumen y estado nutricional de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias, España. *Rev. Gen. For. en Méx.* 34(106): 107-126.
- Alcántar, G. y L. I. Trejo. 2007. *Nutrición de Cultivos*. Mundi-Prensa. México, D. F. México. 438 p.
- Alcántar, G. y M. Sandoval. 1999. *Manual de análisis químico de tejido vegetal*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Edo. México. México. Publicación especial Núm. 10. 156 p.
- Alvarado, A. y J. L. Fallas. 2004. Efecto de la saturación de acidez y encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L. f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agron. Costarric.* 28 (1): 81-87.
- Anantha, P., H. S. 2006. Informe internacional sobre la teca. Product disclosure statement - Rewards Group Teak Project "International Teak Market Report". Canberra, Australia. 6 p.
- Balam C., M. A. 2103. Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L. f.) en el municipio de Balancán, Tabasco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Montecillo, Edo. de Méx., México. 40 p.
- Bebarta, K. 1999. Teak: ecology, silviculture, management and profitability. International Book Distributors. Uttar Pradesh, India. 380 p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Briscoe, C. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. CATIE Serie Técnica. Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico Núm. 270. 44 p.
- Chávez, E. y W. Fonseca. 1991. Teca: *Tectona grandis* L. f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico Núm. 179. 47 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2005. Oro en la selva: La Teca, madera preciosa de gran valor. Vegetación de México http://www.mexicoforestal.gob.mx/nuestros_arboles.php?id=27 (13 de agosto del 2009).
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2013. Especies maderables establecidas en PCF por año. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/plantaciones-forestales/> (25 de marzo de 2014).
- Correndo, A. y F. García. 2012. Alternativas de diagnóstico para el manejo nutricional en cultivos extensivos. In: VI Congreso Boliviano de la Ciencia del suelo. 8 al 10 de noviembre de 2012. 412 p.
- Drechsel, P. and W. Zech. 1991. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations in the rainforest zone of Liberia. *Forest Ecol. Manag.* 41: 221-235.
- Fassbender, H. W. 1986. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA. Serie de Libros Educativos No. 24. San José, Costa Rica. 385 p.
- Hase, H. and A. Foelster. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. *Forest. Ecol. Manag.* 6 (1): 33-57.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo (Inafed). 2009. Enciclopedia de los Municipios de México. http://www-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EWM_nayarit. (10 de octubre del 2009).
- Jha, K. K. 1999. Teak (*Tectona grandis* L. f.) Farming. Forestal Department Uttar Pradesh. International Book Distributing Co. Uttar Pradesh, India. 125 p.
- Kokutse, A. D., H. Baillères, A. Stokes and K. Kokou. 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L. f.). *Forest Ecol. Manag.* 189(1): 37-48.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to express our gratitude to the Environmental and Organic Fertilizers' Laboratory; to Sergio Onorio Contreras, MS, and Engineer Isaías Pedroza Rangel, for their valuable support in the foliar analyses; to the staff of the agrobiology laboratory, particularly to Josefina Leticia Fregoso Franco, MS, of the *Centror Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias* of the *Universidad de Guadalajara*; to the Agronayarita firm, to its CEO, Álvaro Navarro, and to its staff, for their collaboration in the present research.

End of the English version



- López L. M. A. y E. Estañol B. 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana* 25(1): 9-15.
- Miranda, I., V. Sousa and H. Pereira. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis* L. f.) from a mature unmanaged stand in East Timor. *J. Wood Sci.* 57: 71-178.
- Mollinedo, M. 2003. Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.) en la zona Oeste, Cuenca del canal de Panamá. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 90 p.
- Mollinedo, M., L. Ugalde, A. Alvarado, J. Verjans y L. Rudy. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de Teca (*Tectona grandis* L. f.), en la zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá. *Agron. Costarric.* 29(1): 67-75.
- Montero, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis de Maestría. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 63 p.
- Mothes, M., E. Cuevas y W. Franco. 1991. Limitación nutricional por fósforo en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.), en los Llanos Occidentales venezolanos. *Revista Facultad Agronomía (Maracay)* 17: 309-315.
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT). 2012. Potencial comercial y nichos de mercado. Guadalajara, Jal. México. 122 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2009. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 158 p.
- Rodríguez, F. 1996. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. AGT Editor S. A. México, D. F., México. 157 p.
- Salcedo P., E., A. Galvis S., T. M. Hernández M., R. Rodríguez-M., F. Zamora N., R. Bugarín M., R. Carrillo G. 2005. La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. *Terra Latinoamericana* 25:419-425.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000 Norma Oficial Mexicana, Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. México, D.F. México. 85 p. <http://www.profepagob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf>. (3 de mayo de 2014).
- Sima G., S. A. 2010. Relación del suelo con el crecimiento inicial y contenido foliar de teca (*Tectona grandis* L. f.), y adaptación de leguminosas para control de arvenses bajo un sistema fertirriego en Campeche, México. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 90 p.

Statistical Graphics Corp. 1994-1999. Statgraphics Plus. Ver. 4. 0. Windows. Princeton, NJ. USA. s/p.
Tewari, D.N. 1992. A monograph on teak (*Tectona grandis* Linn. f.). International Book Distributors. Dehra Dun, India. 479 p.
Vallejos, B. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb en Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 147 p.

Verhaegen, D., I. J. Fofana, Z. A. Logossa and D. Ofori. 2010. What is the genetic origin of teak (*Tectona grandis* L. f.) introduced in Africa and in Indonesia? *Tree Gen. Genom.* 6: 717-733.
Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.



