



*La investigación, su esencia y arte*

# FONDO EDITORIAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA  
DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO



## Nutrición y Crecimiento Inicial de Teca (*Tectona grandis*) en México



◆ ALINA LUISA YPUSHIMA PINEDO  
◆ EDUARDO SALCEDO PÉREZ  
◆ KAREN STEPHANNY CÓRDOVA FLORES

◆ OCTAVIO FRANCISCO JAVIER GALVÁN GILDEMEISTER  
◆ ENA VILMA VELAZCO CASTRO

<https://fondoeditorial.unat.edu.pe>

# NUTRICIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE TECA (*Tectona grandis*) EN MÉXICO



*La investigación, su esencia y arte.*

Alina Luisa Ypushima Pinedo  
Eduardo Salcedo Perez  
Karen Stephanny Córdova Flores  
Octavio Galvan Gildemeister  
Ena Vilma Velazco Castro

**Pampas – Tayacaja**

**2022**

# NUTRICIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE TECA (*Tectona grandis*) EN MÉXICO

© Alina Luisa Ypushima Pinedo  
Email: [aypushimap@unia.edu.pe](mailto:aypushimap@unia.edu.pe)  
Dirección: Jr. Bellavista 1014, Callería, Ucayali - Perú

Eduardo Salcedo Perez  
Email: [eduardo.salcedo@academicos.udg.mx](mailto:eduardo.salcedo@academicos.udg.mx)  
Dirección: Av. Vuelo de las Grullas 100 int C14. Fraccionamiento Las Grullas. San Agustín, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco CP. 45045, México

Karen Stephanny Córdova Flores  
Email: [kcordova@unia.edu.pe](mailto:kcordova@unia.edu.pe)  
Dirección: Calle Santa Lucía Mz 201 A Lt 22, Yarinacocha, Ucayali - Perú

Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister  
Email: [ogalvang@unia.edu.pe](mailto:ogalvang@unia.edu.pe)  
Dirección: Jirón Iparía manzana 55 lote 13, Yarinacocha, Ucayali - Perú

Ena Vilma Velazco Castro  
Email: [evelazcoc@unia.edu.pe](mailto:evelazcoc@unia.edu.pe)  
Dirección: JR. Señor de los milagros Mz I LT 1, Yarinacocha, Ucayali - Perú

Editada por:

©Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT) - Fondo Editorial.

Dirección: Bolognesi N° 416, Tayacaja, Huancavelica -Perú  
[info@unat.edu.pe](mailto:info@unat.edu.pe)  
Telf: (+51) 67 -990847026  
Web: <https://unat.edu.pe/>

Primera edición digital: Enero 2023  
Libro digital disponible en <https://fondoeditorial.unat.edu.pe>  
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-13192  
ISBN: 978-612-48982-5-9

Corrección de estilo y Diseño y Diagramación: Gráfica “imagen”:  
Gianmarco Garcia Curo  
[gianmarco.garcia.c@gmail.com](mailto:gianmarco.garcia.c@gmail.com) / Telf: +51 925 622 439

*No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, su tratamiento información, la transmisión de ninguna otra forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.*

# TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	5
AGRADECIMIENTOS .....	6
RESUMEN.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. ESTUDIOS DE NUTRICIÓN Y CRECIMIENTO EN TECA .....	10
3. CARACTERÍSTICAS DE TECA .....	12
3.1. Distribución natural y en plantaciones.....	12
3.2. Descripción botánica .....	13
3.3. Condiciones climáticas.....	13
3.4. Condiciones edáficas.....	14
3.5. Nutrientes en la fisiología de la planta .....	14
3.5.1. Análisis foliar .....	15
3.5.2. Análisis del suelo.....	15
3.5.3. Funciones de los nutrientes .....	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
4.1. Área de estudio.....	17
4.2. Metodología.....	19
4.2.1. Fase de campo .....	19
4.2.2. Fase de laboratorio.....	20
4.2.3. Fase de gabinete.....	21
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
5.1. Características de los suelos de las plantaciones de Teca.....	22
5.2. Comportamiento de la concentración foliar en las plantaciones de Teca.....	26
5.3. Diagnóstico nutrimental de las plantaciones de Teca.....	28
5.4. Evaluación de las variables de crecimiento .....	32
5.5. Relación de nutrientes foliares con el crecimiento .....	35
6. CONCLUSIONES.....	37
7. RECOMENDACIONES.....	38
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
ANEXOS.....	45



**DEDICATORIA** *La investigación, su esencia y arte.*

A nuestras familias.

En memoria a los que nos adelantaron.

## AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Álvaro Navarro, director de la empresa Agroforestal Nayarita S.A. y a su personal por la colaboración en la presente investigación.

Al Ing. Isaías Pedroza Rangel por la colaboración en la realización de los análisis foliares.

A la M.C. Josefina Leticia Fregoso Franco, directora del laboratorio de Agrología, y al personal del laboratorio, del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, de la Universidad de Guadalajara.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el estado nutrimental de Teca en una plantación forestal con fines comerciales bajo condiciones edafoclimáticas específicas y manejo silvícola, con la finalidad de generar información de utilidad respecto a sus requerimientos nutrimentales en sus primeros años de establecimiento. La investigación consideró una plantación de 2 años ubicada en el Estado de Nayarit. Para el diagnóstico nutrimental se hizo muestreo foliar, colectando hojas en la parte superior e inferior respectivamente. En dichas muestras se evaluó el contenido de macro (N, P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Cu, Zn, Mn y Fe). Adicionalmente se realizaron muestreos compuestos de suelo en las parcelas evaluadas, para analizar pH, capacidad de intercambio catiónico, textura, conductividad eléctrica, cationes intercambiables (Ca, Mg, K), materia orgánica, fósforo. Para la evaluación dasométrica se midieron dos variables, altura del árbol y DAP.

Mediante un análisis estadístico discriminante se evaluó que las concentraciones foliares de Ca, Mg y Mn fueron los más importantes para clasificar a las parcelas. Se encontró una correlación entre P y K con respecto a la altura y el DAP respectivamente. El P y K podrían ejecutar un papel importante en el crecimiento de Teca en Nayarit. El contenido de K estuvo por debajo de los niveles considerados como mínimos para un adecuado desarrollo, lo que significa que los requerimientos de esta especie en dicha plantación estuvieron cubiertos con cantidades menores a las reportadas principalmente al crecimiento del DAP. La concentración foliar mostró que todos los nutrientes determinados fueron suficientes para cubrir la demanda durante los primeros años de establecimiento de las plantaciones de Teca; estos resultados, son de gran relevancia para apoyar la toma de decisiones en materia de manejo de la fertilidad para plantaciones comerciales de esta especie.

## 1. INTRODUCCIÓN

Teca (*Tectona grandis*) es una especie latifoliada, arbórea decidua, originaria de India, Birmania, Tailandia, Java e Indonesia, que pertenece a la familia Verbenaceae, y en su estado maduro es un árbol recto que puede alcanzar hasta 30 m de altura y 80 cm de diámetro (Jayaraman 2011). Es una especie con alta reputación por las bondades en las propiedades tecnológicas de su madera; por lo cual, es apreciada como la madera más valiosa del mundo y tiene alta demanda en el mercado internacional. Por ello, podría ser considerada como la reina de todas las maderas (Hallet *et al.* 2011).

En 52 países se ha establecido aproximadamente 4.35 millones de ha de la especie Teca (Kollert y Cherubine 2012). Asia representa el 83%, teniendo la mayor área establecida de plantaciones de Teca, después está África con 11% y América tropical con 6% , destacando Trinidad, Panamá, Costa Rica, Venezuela, Honduras, Ecuador y México (ITTO 2010). En México se ha establecido 149 959 ha de plantaciones forestales, representando la especie Teca el 12% (18 009 ha) del total de superficies establecidas, llegando a ocupar el quinto lugar de importancia con respecto a las superficies establecidas de plantaciones forestales, manteniendo una tendencia creciente (CONAFOR 2012), llegando a adaptarse en regiones de los estados de Campeche, Chiapas, Tabasco, Veracruz, Michoacán y Nayarit (CONAFOR 2013).

La madera de Teca procedente de bosques naturales y plantaciones de más de 40 años de edad, hasta el 2006, dependiendo el tamaño y la calidad de la madera tenía un valor comercial de 225 a 1000 dólares por m<sup>3</sup>; por lo cual, fue considerada una especie interesante para inversionistas y productores forestales por su valor comercial alto (Anantha-Padmanabha 2006). La tasa de crecimiento y la calidad de la madera de Teca, hacen que el establecimiento de plantaciones forestales comerciales sea viables a escalas grandes y pequeñas (Langenberger y Liu 2013).

En México, el establecimiento de plantaciones forestales comerciales se ha impulsado por incentivos económicos; los cuales, se han establecido en lugares con escenarios ecológicos y edáficos variados, en muchos casos sin considerar los requerimientos de la especie y la calidad del sitio; lo cual, también fue señalado por Vaides (2004) para plantaciones de Teca, que consideran solo la producción maderable futura y no los requerimientos básicos de la especie para el adecuado crecimiento; lo cual podría afectar las propiedades de la madera, modificar su calidad y repercutir en el aprovechamiento e industrialización (Cutter *et al.* 2004, Saranpää 2003).



Existen estudios desarrollados en varios países sobre las relaciones de las propiedades físicas y químicas del suelo con la tasa de crecimiento y propiedades de la madera de Teca (Mollinedo 2003, Montero 1999). Asimismo, Alvarado y Fallas (2004) reportan en plantaciones de Teca en Costa Rica que el incremento medio anual de la altura (IMAH) disminuye de 3.9 a 1.5 m año<sup>-1</sup> en suelos con pH menores a 6, el, mientras que un aumento en el crecimiento se debe a niveles superiores a 68% de calcio; lo cual, ha sido demostrado por Mollinedo *et al.* (2005) para plantaciones de Panamá. De otro modo, Alvarado *et al.* (2004) mencionan que el crecimiento de los árboles de Teca se ven afectados por el nivel de pH menor a 5.5, alterando los niveles de micorrizas de las raíces. Para México, la información científica que aporte evidencias sobre el comportamiento de la especie Teca a condiciones edafoclimáticas de los sitios de plantación, no se encuentra disponible.

Sin embargo, a pesar de ser una de las especies tropicales más estudiadas, los aspectos relacionados a sus requerimientos y comportamiento nutrimental han sido muy poco estudiados, y por lo tanto el uso adecuado de fertilizantes presenta controversias importantes, resultando en muchos casos en aplicaciones de forma arbitraria y sin fundamento técnico-científico que evite aplicaciones inadecuadas relacionadas al tiempo, dosis y forma de aplicación. Al igual que para los cultivos agrícolas, en las plantaciones forestales uno de los factores que más limitan su productividad es precisamente la disponibilidad y absorción de nutrientes, sobre todo en los primeros años de establecimiento. La nutrición forestal se relaciona con el suministro y absorción de compuestos químicos necesarios para el adecuado crecimiento y metabolismo de las plantas (Binkley 1993). Las necesidades nutritivas sobre todo en sus primeros años no están bien definida y comprendida, por lo tanto, las recomendaciones se realizan de forma empírica o copiando modelos aplicados a cultivos agrícolas, lo que se puede traducir en aplicaciones excesivas de fertilizantes, incrementando significativamente los costos y propiciando contaminación ambiental.

En este sentido, realizar estudios sobre el comportamiento y concentración nutrimental en plantaciones de teca se hace imprescindible, ya que permite conocer los requerimientos reales, sobre todo cuando éstas se encuentran con manejo forestal y bajo condiciones edafoclimáticas específicas. Para lograr lo anterior, el análisis de tejido vegetal como técnica de diagnóstico del estado nutrimental, resulta ser una herramienta de gran ayuda, y la cual se basa en determinar la concentración de nutrientes en los tejidos foliares y su relación con variables de crecimiento o rendimiento.

Por lo tanto, el presente trabajo contribuye al conocimiento del estado nutrimental de la especie Teca, el comportamiento del contenido foliar de los nutrientes bajo condiciones particulares de suelo y su relación con variables dasométricas, que aporta elementos científicos y técnicos para el adecuado manejo de plantaciones de Teca durante los primeros años de establecimiento en el estado de Nayarit. La información es relevante para incentivar a nuevos inversionistas u organizaciones que estén interesados en establecer plantaciones con la especie Teca y por lo tanto favorecer al sector forestal.

## 2. ESTUDIOS DE NUTRICIÓN Y CRECIMIENTO EN TECA

Salcedo *et al.* (2014) y Ruiz (2016), revelaron que las propiedades físicas (textura, densidad aparente y humedad) y químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica) edáficas, revierten de mayor importancia en el crecimiento del árbol.

De Camino y Morales (2013) indicaron que a menudo se originan incrementos en altura de 3 m o más en los dos primeros años, siendo muy acelerado en las primeras etapas el crecimiento en altura del árbol de Teca, a los 5 años no es extraño encontrar árboles con alturas desde 5 a 15 m, favoreciendo rápidos incrementos en área basal y volumen; sin embargo, desde los 15 a 20 años el incremento en altura y volumen tiende a desacelerar sustancialmente.

González-Martínez *et al.* (2013) evaluaron un sistema agroforestal de 5 años integrado por Teca, donde reportaron alturas promedio de 10.6 m y diámetros de 12 cm.

Cortez (2011), en rodales de Teca a siete años establecidas en Michoacán obtuvo 11.52 m de altura promedio; diámetros promedios de 14.5 cm.

Los árboles de Teca a los 10 meses presentaron mejor respuesta de 288 en altura y 4.7 cm en diámetro, con tratamiento de 50 g del fertilizante N-P-K de 17-34-30 (Pérez 2009).

Los árboles de Teca en los primeros 3 años se desarrollan en altura de 2.8 a 3.6 m año<sup>-1</sup> y crecen en diámetro de 2.9 a 3.7 cm año<sup>-1</sup>, los siguientes 3 años disminuye en altura hasta 1.7 m y crece en diámetro 2 cm año<sup>-1</sup> y a partir del noveno año bajan en altura hasta 1 m año<sup>-1</sup> y en diámetro hasta 1.5 cm. Se reporta que en suelos nuevos y con precipitación por encima de 1500 mm hubo mejor desarrollo (Vargas *et al.* 2007).

Balam (2006), evaluó una plantación de dos años establecida con tres especies de rápido crecimiento, entre ellas Teca; ésta presentó una altura promedio de 5.36 m.

En plantaciones de Teca del área de Petén, Guatemala, Rodas (2006) encontró que solamente el potasio mantiene una correlación que es positiva con los factores de

crecimiento y que las concentraciones de nutrientes foliares presentan principalmente un nivel medio, mostrando que en el crecimiento de Teca puede influenciar la disponibilidad de potasio.

En plantaciones de la zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá, Mollinedo *et al.* (2005) reportan que hasta 42 meses de edad en Teca, con respecto al incremento medio anual (IMA) en volumen, se sitúan en el rango de crecimientos bajos de 2.9-4.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> un 29%, en el rango de crecimientos medios de 6.3-8.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> un 59% y en el rango de crecimientos altos de 10.3-13.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> un 12%; asimismo, que la saturación de acidez debe ser menor que 8% y la saturación de calcio mayor que 40%, con la finalidad de alcanzar los mejores valores de crecimiento de los árboles.

En Costa Rica, Alvarado y Fallas (2004) reportan en plantaciones menores de 25 años, que se debe neutralizar la saturación de acidez hasta cifras cercanas al 3% y la saturación de calcio debía partir de un 68%, para optimizar el crecimiento de Teca.

Bermejo *et al.* (2004), en Costa Rica, obtuvieron alturas promedias de 21 y 15 m en rodales de 8 y 10 años respectivamente.

Fonseca (2004), señaló que el encalado mejora el incremento en altura y volumen en un 59 % y cuando se aplican fertilizantes en 216 %.

En plantaciones de Teca en Brasil, Oliveira (2003), reporta que para obtener el requerimiento en base al incremento medio anual en altura, encalado y fertilización, el suelo debe tener 10% máximo de saturación de aluminio representado por 2.5 cmol(+)Ca+Mg dm<sup>-1</sup>, 65% de saturación de bases y 6 de pH. Cuando los árboles tienden a reducir el incremento medio anual en altura de 3.9 a 1.5 m año<sup>-1</sup>, fue debido a que la saturación de acidez del suelo aumentó de 1 a 5.8%; por lo tanto, los árboles tienden a crecer aún menos, en promedio 1.45 m año<sup>-1</sup>, cuando los valores de saturación de acidez son mayores.

Montero (1999), encontró que los árboles de Teca a edades jóvenes requieren de mayores cantidades de potasio, fósforo, nitrógeno y cobre foliar. A edades mayores necesitan más cantidad de calcio, magnesio, manganeso y zinc foliar. Las diferencias encontradas pueden ser por la movilidad de algunos nutrientes que se muestran a edades jóvenes en mayores cantidades en comparación a las de mayor edad; siendo también la época de muestreo y la edad de la hoja factores que influyen.

Montero (1999), reporta que la especie Teca puede tener bajas concentraciones de calcio en el suelo y altas concentraciones en la hoja, no siendo tan exigente de niveles altos de calcio en el suelo, con contenidos desde 0.7 hasta 25  $\text{cmol}^+ \text{L}^{-1}$  que puede dar buenos crecimientos. El Mn foliar en Teca disminuye a medida que aumenta el Ca, Mg, K y el pH del suelo. Asimismo, para obtener buenos crecimientos y cubrir sus necesidades la especie Teca, necesitaría un máximo de 2% de N foliar y un 0.3% en el suelo, 3  $\text{mg L}^{-1}$  de P en el suelo y 1.8 % aproximadamente de P foliar y entre 0.5 y 1 % del K foliar.

Drechsel y Zech (1994), encontraron para plantaciones de Teca en Venezuela, que la deficiencia de fósforo, potasio, magnesio y zinc foliar es provocada por los altos contenidos de hierro, aluminio y manganeso del suelo. Asimismo, en África del Este reportan que el exceso de aluminio del suelo afectó al nitrógeno, calcio y fósforo foliar; encontrando que se puede corregir estos síntomas, conservando una buena porción de materia orgánica en el suelo, sin embargo, es muy poco lo que se conoce sobre la tolerancia de estos nutrientes.

Hernández *et al.* (1993), encontraron que en plantaciones de Teca en Ticoporo (Venezuela) en sitios con mejor drenaje el fósforo y el potasio foliar fueron significativamente mayores, mientras que en sitios poco drenados el magnesio, hierro y manganeso foliar fueron notoriamente mayores. El potasio foliar mostró correlación con el área basal de los árboles de Teca, en suelos moderadamente bien drenados; el cual, podría explicar la mejor productividad de la plantación

### **3. CARACTERÍSTICAS DE TECA** *ación, su esencia y arte.*

#### **3.1. Distribución natural y en plantaciones**

Según Rao (1991), se extiende desde los 25° N hasta 9° S. En general, su distribución preferida es la N, también la longitud 104° a 73°.

Teca es una especie latifoliada, originaria de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India, en los bosques secos y húmedos deciduos, de la familia Verbenaceae, por su rápido crecimiento en gran variedad de sitios presenta gran potencial para los programas de reforestación en los trópicos (Briscoe 1995).

Ugalde (2003) reporta que actualmente hay aproximadamente entre 150 000 a 200 000 ha de Teca en América Latina. Ha sido plantada extensamente fuera de su distribución natural y en al menos en cada país de América Central, en varias islas del Caribe, en México y en muchos países de América del Sur.

### 3.2. Descripción botánica

Es una especie decidua, los árboles descartan sus hojas durante la época seca, y un nuevo follaje aparece durante la época de lluvias. Posee un tallo recto que puede alcanzar sobre los 50 m en condiciones favorables. Cuando crece aislado hay bifurcación del fuste y presenta una copa más amplia, ramas gruesas y bajas. Pero la bifurcación también se puede llegar a dar al llegar a la madurez o cuando la floración empieza a una edad temprana. La corteza es áspera y delgada, fisurada de color café claro. En su hábitat natural florece a los 5-6 años de edad. Poblaciones plantadas fuera de su distribución natural florecen a los 2-4 años después de plantadas. La floración usualmente comienza luego de las lluvias. Sus flores son numerosas y se disponen en panículas erectas terminales (Geilfus 1994).

Teca en su hábitat natural alcanza hasta 60 m de altura y más de 2 m de diámetro. En el caso de las plantaciones forestales comerciales esta especie llega a medir hasta 40 m y se caracteriza por tener un tronco generalmente recto, con ramas bajas y hojas muy grandes de hasta 60 cm de largo (PRODEPLAN 2005).

### 3.3. Condiciones climáticas

En condiciones naturales requiere de una estación seca definida entre tres a siete meses, con precipitación media anual de 760 a 5000 mm, temperaturas medias anuales entre 21 y 28 °C y altitudes desde el nivel del mar hasta los 1000 m.s.n.m. (Lamprecht 1990).

Chávez y Fonseca (1991), mencionan que la precipitación es un factor ambiental más relacionado con la estimación indirecta del índice de sitio para Teca, siendo los mayores incrementos en sitios con una variación entre 2500 a 3000 mm por año. Bajo los 100 m.s.n.m se han encontrado los mejores rendimientos, siendo la elevación al parecer otro factor importante para la especie, definiendo en gran medida el crecimiento de la especie

En el lugar de origen de Teca, la precipitación es desde 760 mm/año y un rango superior de 3800 a 5000 mm/año. Prospera mejor en áreas lluviosas monzónicas en el orden de 1300-3800 mm/año (Rao 1991).

Montero (1999), menciona que los mejores sitios para Teca se ubican en áreas con precipitaciones a partir de los 1500 mm. Asimismo encontró que el 88% de las parcelas que evaluó se ubica entre 3 y 6 meses secos, como los mejores IS (índice de sitio), lo que supone que la especie se desarrolla en esas condiciones dando óptimos crecimientos.

Asimismo, encontró que los mejores crecimientos de teca se obtienen entre los 26 y 27 °C de temperatura media anual.

Necesita un clima húmedo y cálido, con pluviosidad anual entre 1250 y 1500 mm. Resiste muy bien la variación en la temperatura y es capaz de soportar hasta 5 meses de sequía; sin embargo, en un clima húmedo lo ideal son 3 meses de estación seca. Se planta desde nivel del mar hasta 1000 m de altitud (PRODEPLAN 2005).

Otros reportes sugieren considerar dos límites térmicos observados en Honduras por Salazar, citado por Chávez y Fonseca (1991), el primero entre 25°C y 28°C clasificado como bueno y el segundo entre 20° y 25°C clasificado como menos apropiado, considerando que fuera de estas condiciones no prospera adecuadamente

### 3.4. Condiciones edáficas

Teca es una especie calciorosa que requiere para su crecimiento y desarrollo, una cantidad relativamente grande de calcio en los suelos. Buenos suelos para teca, son los ubicados en las praderas de Madhya en la India, que poseen más de 0.3% de calcio intercambiable, parece estar positivamente asociado con su desarrollo. Los factores limitantes para la especie se consideran los suelos poco profundos, compactados, con bajo contenido de calcio o magnesio, con pendiente y mal drenaje (Chávez y Fonseca 1991).

Teca presenta mejor desarrollo en suelos franco-arenosos a arcillosos, fértiles, con pH entre 5.0 y 8.5, presentándose en su condición natural en diversos tipos de suelos (Briscoe 1995).

Teca es exigente de suelos fértiles, requiere suelos con alto contenido de cationes (calcio, magnesio y potasio) y fósforo, profundos, bien drenados y con bastante oxígeno y muy buena aireación (Drechsel y Zech, citado por Alvarado 2006).

### 3.5. Nutrientes en la fisiología de la planta

Los compuestos requeridos por los vegetales se denominan nutrientes y para cumplir dicha función deben ser de naturaleza química inorgánica, los cuales son aportados primordialmente por el suelo (Montoya 2000).

La importancia de dichos trabajos radica en la diferente dinámica y cambios en la concentración respecto a la especie o grupo taxonómico, a las diferencias en la concentración nutrimental del órgano dependiendo de su ubicación en la planta, de la edad de los mismos y de su interacción con el medio ambiente (Moreno *et al.* 2002).

### 3.5.1. Análisis foliar

Drechsel y Zech (1991), indican que el ciclaje de los nutrientes intenta explicar la nutrición foliar y el muestreo de suelos, por ejemplo de las posibles relaciones entre el zinc foliar y el calcio y, el magnesio en el suelo, que la mayor disponibilidad del Zinc tanto en el suelo como en la planta se debía al pH medio-alto del suelo.

El análisis foliar se basa en que la concentración de un elemento esencial en la planta, indica la habilidad del suelo para proporcionar ese nutriente. Este análisis se usa para comprobar el ingreso de nutrientes aplicados a la planta, confirmar síntomas visuales de deficiencia, identificar alguna deficiencia de nutrientes sin presentar síntomas e indicar antagonismos o interacciones entre nutrientes (Briscoe 1995).

Drechsel y Zech (1991), manifiestan que uno de los principales problemas es la falta de niveles críticos de los nutrientes específicamente para las especies tropicales, lo que dificulta la interpretación de los resultados del análisis foliar; siendo las investigaciones en este campo para las especies

Según Bertsch (1995), el análisis foliar es posible usar como una técnica de diagnóstico del estado nutricional de las plantas, debido a que es en las hojas donde ocurre la síntesis de las sustancias esenciales para el crecimiento y la fructificación; por lo tanto, representaría de mejor manera, el estado nutricional de los demás órganos.

El análisis foliar junto a otras variables de sitio, permite diagnosticar o validar antes de que sean de importancia económica, la presencia de síntomas visuales de deficiencias de nutrientes, (Boardman *et al.* 1997).

El análisis foliar permite integrar los efectos de la planta, del suelo, el clima y el manejo, constituyendo la mejor medida de la disponibilidad de los nutrientes del suelo (Rodríguez y Rodríguez 2002).

### 3.5.2. Análisis del suelo

Las técnicas de laboratorio cumplen con el requisito de la sólida investigación que respalde la asociación de la respuesta de campo de los cultivos; por lo tanto, un análisis de suelo por sí solo no tiene valor, siendo una cifra empírica que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutriente para las plantas (Bertsch 1998).

Los objetivos de un análisis de suelo son: determinar con precisión la disponibilidad de los nutrientes del suelo para las plantas, tanto las deficiencias como los excesos.

Para que un análisis sea útil, es necesario interpretarlo debidamente; por lo tanto, el análisis del suelo es una fuente de información valiosa para su manejo y el de los cultivos (Rodríguez y Rodríguez 2002).

Las fuentes de variación que influyen en el resultado de un análisis de suelo son: el error en la toma de la muestra como por ejemplo una inadecuada distribución, toma y/o manipulación de las muestras a nivel de campo y el error analítico (Rodríguez y Rodríguez 2002).

### 3.5.3. Funciones de los nutrientes

Kyrkby y Romheld (2008) mencionan que los elementos esenciales y con funciones específicas en el metabolismo de las plantas se clasifican, según su concentración en la planta y conforme a sus requerimientos para el adecuado crecimiento y reproducción, en dos grupos: Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn). A continuación, se exponen algunas de sus funciones mencionado por PPI (1997):

Nitrógeno, es un componente esencial de los aminoácidos, los cuales forman proteínas, siendo directamente responsable del incremento del contenido de proteínas en las plantas. Forma parte de la molécula de la clorofila, siendo necesario para la síntesis de la clorofila y para el proceso de la fotosíntesis. Es un componente de las vitaminas y los sistemas de energía en la planta.

Fósforo, favorece a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente, mejorando su resistencia a las bajas temperaturas. Asimismo, desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división, crecimiento celular, respiración y código genético.

Potasio, es vital y esencial para la fotosíntesis, la síntesis de proteínas, la descomposición de carbohidratos, traslocación de metales pesados como el hierro, en la eficiencia del uso del agua, en el transporte de azúcar y provee de energía a la planta para su crecimiento.

Calcio, forma compuestos que son parte de las paredes celulares como la pectosa y pectina; asimismo, estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas, esto fortalece la estructura de la planta y ayuda a activar varios sistemas de enzimas.



Magnesio, es el átomo central de la molécula de la clorofila, está involucrado activamente en la fotosíntesis, en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de muchos sistemas enzimáticos en las plantas.

Manganeso, activa varias reacciones metabólicas importantes y juega un papel directo en la fotosíntesis al ayudar a la planta a sintetizar clorofila, funciona principalmente como parte de los sistemas enzimáticos de las plantas.

Zinc, es esencial y necesario para promover ciertas reacciones metabólicas y para la producción de clorofila y carbohidratos. Ayuda a la síntesis de sustancias y de varios sistemas enzimáticos que permiten el crecimiento de la planta.

Cobre, cataliza varias reacciones en las plantas a pesar de no ser parte del producto que se forma con esas reacciones y es necesario para la formación de clorofila.

Hierro, es un metal ayuda a formar ciertos sistemas enzimáticos que actúan en los procesos de respiración, cataliza la formación de la clorofila y actúa como un transportador del oxígeno.

#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **4.1. Área de estudio**

Se estudiaron tres plantaciones comerciales de Teca, propiedad de la empresa Agroforestal Nayarita S.A, establecidas bajo tres condiciones edáficas en Nayarit, México, en julio de 2008 (Figura 01), ubicadas en las siguientes coordenadas: El Mirador 2: 21° 54' 28.4" N y 105° 03' 43.3" W a 51 m de altitud (19.95 ha), Cerritos 1: 21° 54' 10.8" N y 105° 03' 29.2" W a 39 m de altitud (10.66 ha), Cerritos 2: 21° 54' 00.0" N y 105° 03' 27.7" W, a 39 m de altitud (23.34 ha).

El área de influencia se caracteriza por tener un ambiente cálido subhúmedo con lluvias en verano, altitud de 25 m, precipitación anual de 1496.7 mm y temperatura promedio anual de 23.5 °C (INEGI 2017).

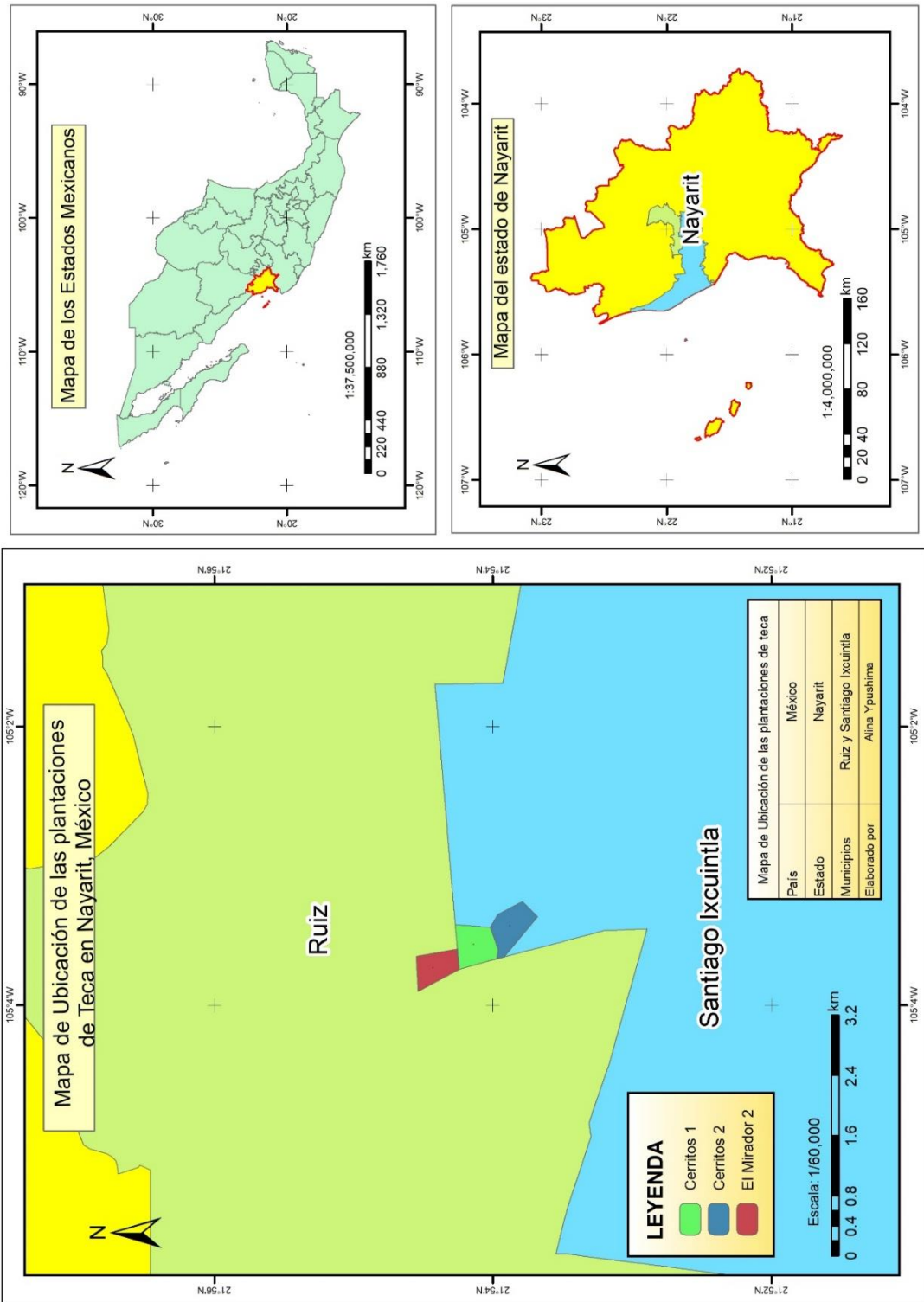
El tipo de suelo que presenta según la clasificación FAO/UNESCO (1970) modificada por la Comisión de estudios del territorio nacional (1974) es Cambisol eútrico y Feozem háplico, es lítica profunda; es decir lecho rocoso entre 50 y 100 cm de profundidad.

Las plantaciones han sido tratadas silvícolamente (podas, raleos selectivos, manejo de arvenses, etc.) y en periodos de largas sequías se han aplicado riegos de auxilio. Se establecieron subparcelas con dimensiones de 5 x 5 árboles, espaciamiento de 3.3 metros

x 3.3 metros (densidad final de 918 árboles/ha), cada parcela con una superficie de 533.6 m<sup>2</sup>.

**Figura 01**

*Mapa de ubicación de las plantaciones forestales de Teca*



## 4.2. Metodología

El estudio se desarrolló en tres fases, una de campo para realizar la colecta de muestras y para la toma de datos de los árboles evaluados, una de laboratorio que consistió en la realización de todos los análisis de contenidos nutrimentales foliares y la caracterización química y física de los suelos de las parcelas estudiadas; la fase de gabinete fue para analizar la información documental científica y tecnológica relacionada a esta especie con la que se formuló la revisión de literatura y finalmente para el proceso de datos, los análisis estadísticos correspondientes y la discusión de los resultados encontrados.

### 4.2.1. Fase de campo

#### A. Muestreo de suelo

Para los análisis del suelo en cada plantación se tomaron dos muestras compuestas, estas muestras estuvieron conformadas por tres submuestras de igual volumen y profundidad. Para que hubiera más variabilidad natural, se tomaron dentro del área muestreada, las submuestras en puntos al azar (Bertsch 1998, Rodríguez y Rodríguez 2002).

Se evitó obtener muestras que no fueran representativas del lugar o que tuvieran alguna particularidad específica, por ejemplo: topografía diferente. Se midió un metro entre la base del árbol y la toma de la muestra.

Se realizó una calicata de 0.40 x 0.40 y 0.40 m de profundidad, de donde se obtuvo las submuestras; las cuales, fueron tomadas de las paredes, mezclando y poniendo en una bolsa de plástico apropiadamente rotulada. El motivo de usar esta profundidad se debe a que a esta profundidad hay una alta actividad radicular de Teca (Saldarriaga, citado por Chávez y Fonseca 1991). Las muestras de suelo fueron separadas de piedras y secadas bajo sombra durante 48 horas antes de ser almacenadas temporalmente.

#### B. Colecta de muestras foliares

Se ejecutó de acuerdo a lo establecido y recomendado por Alcántar y Sandoval (1999) en el manual de análisis químico vegetal; solo se adaptó para trabajos de investigaciones de este tipo que usen especies forestales.

Se seleccionaron al azar cinco árboles, de las cuales se cortaron cinco hojas de la parte superior e inferior del árbol, que estuviera libre de daños o enfermedades.

Las muestras de hojas fueron colocadas en bolsas de papel perforadas debidamente rotuladas.

### C. Toma de datos y evaluación del crecimiento

Se midieron 25 árboles por unidad de muestreo y se consideraron las siguientes variables dasométricas:

- Diámetro a la altura del pecho (DAP), se midió con cinta métrica a 1.30 m desde la base del árbol.
- Altura total del árbol. Se midió con una pértiga graduada, desde la superficie del suelo y hasta la punta de la yema terminal.
- Área basal diamétrica por individuo, se calculó con la siguiente fórmula:

$$AB = \pi/4 (D^2)$$

Donde:

AB: área basal (m<sup>2</sup>)

D: diámetro a la altura del pecho (m).

- Volumen se calculó con la siguiente fórmula:

$$V = AB \times H \times Cm$$

Donde:

AB: área basal (m<sup>2</sup>)

H: altura (m)

Cm: Coeficiente mórfico siendo de 0.5 (Arteaga y Castelán 2008).

- Incremento medio anual (IMA) en altura y diámetro. Se dividió el promedio obtenido de la altura y el diámetro por la edad de las plantaciones.

#### 4.2.2. Fase de laboratorio

Esta fase fue realizada en el laboratorio de Agrología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, donde se analizaron los contenidos foliares nutrimentales de las hojas muestreadas y para la caracterización química del suelo y determinación de su clase textural.

##### A. Análisis del suelo

En virtud de que los aspectos de nutrición vegetal están relacionados con la fertilidad edáfica, fue necesario hacer el análisis de suelo correspondiente. Se aplicó la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000; la cual,

establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (SEMARNAT 2002). Las variables que se consideraron en el estudio fueron:

pH. Se empleó el método electrométrico (potenciómetro).

Conductividad eléctrica. El método usado fue por medición electrolítica con una celda de conductividad como sensor.

Materia orgánica. Se empleó el método de Walkley y Black, a través del contenido de carbono orgánico.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables. Se empleó el método del acetato de amonio.

Fósforo. Se empleó el método de molibdovanadato de amonio.

Textura del suelo: Se empleó el método del hidrómetro de Bouyoucos

#### **B. Análisis foliar**

Se cortaron las muestras foliares en pequeñas partes, mezclándolas y obteniendo una muestra compuesta. Fueron lavadas en agua potable y se enjuagó en agua destilada. Se puso a secar durante 48 horas a una temperatura de 60 °C. Se procedió a moler en un molino de acero inoxidable. Se colocó en una estufa a una temperatura de 60 °C hasta llegar a peso constante. Se colocaron en bolsas de plástico y se tomó según la cantidad a usarse en cada análisis. Se analizaron los siguientes nutrientes según Helrich 1990:

Nitrógeno. Se usó el método de Kjeldhal.

Fósforo. se usó el método de molibdovanadato de amonio.

Potasio, Calcio, Magnesio, Manganeso, Cobre, Zinc y Hierro. Se usó el método de absorción atómica

#### **4.2.3. Fase de gabinete**

En el programa Microsoft Excel se procedió a establecer la base de datos, organizándolas de tal forma que se pudiera exportar a los programas STATGRAPHICS *Plus* versión 4.0 (Copyright 1994-1999) y Rstudio, para ser analizadas estadísticamente. Para el análisis estadístico de la base de datos, se trabajó con el Análisis de varianza unifactorial (ANOVA). En el análisis de las plantaciones muestreadas con respecto al contenido foliar se aplicó el análisis discriminante que

es un análisis multivariado. En la relación entre contenido de nutrientes y las variables de crecimiento (altura y DAP) se aplicó la matriz de correlación que permitiera un valor  $-p$  aceptable estadísticamente y que tuvieran una relación causal entre las mismas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Características de los suelos de las plantaciones de Teca

Se tuvo en cuenta a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 para realizar los análisis de suelo y para la interpretación de los mismos para la presente investigación, asimismo con el fin de poder comparar estos valores con estudios realizados se utilizó los niveles críticos (Anexo 1) considerados por Bertsch (1998), como parámetro complementario para interpretar los resultados y poder desarrollar un análisis de las características del suelo presente en el sitio de la investigación, estos se utilizan para las demandas de los cultivos y que no precisamente pertenece a los requerimientos específicos de la especie estudiada, cuya información es escasa, con lo cual se caracterizó el estado nutricional de la plantación. A partir del muestreo en el sitio experimental y a los muestreos realizados en las plantaciones evaluadas, fue posible definir diferencias en las propiedades de los suelos después de un análisis de laboratorio para caracterizarlos.

La textura se clasificó como franco arcilloso, franco arenoso y franco arcilloso arenoso en las plantaciones El Mirador 2, Cerritos 1 y Cerritos 2, respectivamente (Tabla 01); lo cual está dentro de lo que presentan en sitios de condición natural para Teca (Briscoe 1995). Los suelos arcillosos predominan en la presente investigación, siendo positivo de acuerdo a lo descrito por Singh *et al.*, citado por Rodas (2006), indica que para teca en bosques naturales los altos contenidos de arcilla en las capas superficiales, son favorables para que la especie Teca tenga buen desarrollo, resultando lo contrario a medida que la proporción de arena aumenta, se manifiesta una escasa densidad poblacional en estos bosques. Asimismo, Hase y Foelster, citado por Rodas (2006) indica que en sitios con suelos que contienen alto contenido de arcilla, tienden en las plantaciones de Teca a ser mayores, los promedios anuales de productividad en biomasa por ha.

Los valores del pH oscilan entre 5.3 a 5.6, lo cual los ubica en el rango de acidez entre bajo y medio (Tabla 01); la plantación el Mirador 2 y Cerritos 2 tienen un pH que oscila a partir de 5.5, siendo la disponibilidad de elementos esenciales adecuada (Bertsch

1995), mientras que en la plantación Cerritos 1 presentó un pH de 5.3, lo que ocasionaría problemas con respecto a la disponibilidad de elementos como aluminio, hierro y manganeso que podrían llegar a niveles tóxicos, debido a que su solubilidad aumenta en suelos ácidos. Sin embargo, existe contradicción entre Drechsel y Zech (1991), quienes consideran que para el desarrollo de la Teca un pH mayor de 4.7 es adecuado y mientras Briscoe (1995), considera que valores de pH entre 6.5 a 7.5, el desarrollo de esta especie es mejor.

La situación del crecimiento radical de los árboles presentarían problemas a una mayor profundidad debido a que el pH del suelo disminuye siendo más ácido, provocando que la saturación de acidez se incremente, lo cual se observó en la plantación de Cerritos 1 (Tabla 01), así lo reportan Alvarado y Fallas (2004), que a valores de pH superiores a 5.5, la forma de  $Al^{+3}$  no puede ocurrir, pudiendo considerarse esta cifra como neutro en el ecosistema suelo, aumentando exponencialmente por debajo de este valor las concentraciones de saturación de aluminio o de acidez; por lo tanto, el factor que más restringe el crecimiento de los árboles es la toxicidad de aluminio en suelos fuertemente ácidos.

La conductividad eléctrica (CE) de acuerdo a los valores reportados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, se encuentra los valores de esta investigación entre 0.39 a 0.72  $dS\ m^{-1}$  (Tabla 01) están dentro de suelos con efectos despreciables de salinidad, siendo el límite arbitrario adoptado por la Norma mexicana valores  $< 1\ dS\ m^{-1}$  por lo tanto no existe peligro de salinidad; caso inverso provoca cantidades excesivas de sales en el suelo impidiendo la absorción de agua en la planta, cambia la absorción de nutrientes y favorece toxicidad de algunos elementos salinos individuales en el suelo, reduciendo el crecimiento de la planta.

En cuanto a materia orgánica, los valores encontrados están dentro del rango medio y alto de concentración, observándose que los suelos que contienen más arcilla (Tabla 01), las plantaciones El Mirador 2 y Cerritos 2, presentan mayor contenido de materia orgánica en forma de reservas orgánicas estables, las cuales son de suma importancia en la fertilidad física, química y biológica de los suelos, principalmente forestales (Galvis 2000); mientras que la plantación Cerritos 1 presenta el suelo con mayor proporción de arena y valores menores de materia orgánica. A través de la descomposición de esta materia orgánica, se podrán obtener elementos nutritivos inorgánicos como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, etc. En formas orgánicas asimilables por los árboles para su adecuado crecimiento (PPI 1997).

Los valores encontrados para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) están en un rango medio y alto, observándose en la plantación Cerritos 1 (Tabla 01) la disminución de estos valores; por lo tanto, retendrá menos cationes con respecto a las plantaciones El Mirador 2 y Cerritos 2 que retendrán mayor cantidad de cationes y con ello previenen la pérdida potencial por lixiviación de los mismos contenidos en los fertilizantes aplicados. En este sentido, la cantidad de arcilla y materia orgánica, influyen apreciablemente la capacidad de intercambio catiónico de los suelos favoreciendo su fertilidad química (PPI 1997), como se puede apreciar en los valores encontrados y en la mejor respuesta de crecimiento de los árboles en dichas plantaciones.

Con respecto al contenido de fósforo, se encuentra en el rango considerado medio a alto (Tabla 01), lo que potencialmente favorecería a un adecuado desarrollo de Teca; sin embargo, Rodas (2006), encontró que niveles bajos de fósforo en los suelos no necesariamente son un factor limitante para Teca en Petén, además es necesario considerar la posible retención y fijación de este elemento en la fracción arcillosa.

Los contenidos de calcio en el suelo, se encuentran en un nivel medio y alto (Tabla 01), siendo un nutriente esencial para el crecimiento de los meristemos en Teca (Tewari 1999) y especialmente para el adecuado funcionamiento y crecimiento del meristemo radical (caliptra), considerado como el nutriente más importante fisiológica y metabólicamente en esta especie (Bebarta 1999). Vallejos (1996) sugiere que los suelos deben tener contenidos de calcio por encima de  $18 \text{ cmol}(+) \text{ L}^{-1}$  para alcanzar un buen desarrollo y que valores menores de este nivel sería recomendable modificar mediante fertilización o aplicaciones de insumos que lo aporten. Mientras que Montero (1999) indica que en Costa Rica, el establecimiento de plantaciones de Teca no está restringido a mayores cantidades de calcio y que sus demandas podrían ser cumplidas en un amplio rango de 4 a  $23 \text{ cmol}(+) \text{ L}^{-1}$ . No obstante, Mollinedo (2003) estima que en plantaciones de teca en Panamá, se demandan entre  $8-10 \text{ cmol}+ \text{ L}^{-1}$  de calcio como mínimo para lograr crecimientos medios y altos. Lo mencionado por Vallejos (1996) podría considerarse como el nivel requerido en la plantación estudiada en Nayarit por esta investigación, observándose que las plantaciones el Mirador 2 y Cerritos 2 contarían con un contenido adecuado de calcio para el desarrollo de Teca.

El magnesio se encuentra en un nivel medio a alto (Tabla 01), este nutriente es utilizado por los árboles como un constituyente esencial de la clorofila (Bebarta 1999). Mollinedo (2003), encontró que en relación a los crecimientos bajos, medios y altos,



no hay una tendencia clara sobre la demanda de determinado contenido de este nutriente. Sin embargo, en la presente investigación se puede observar que el menor contenido disponible en el suelo de magnesio en la plantación Cerritos 1, contribuyó al menor crecimiento de los árboles en dicho sitio.

En cuanto al potasio, se puede observar que se mantiene en un rango considerado alto (Tabla 01). En general no se presentan problemas en cuanto a la disponibilidad de este nutriente; por su parte Mollinedo (2003) indica en su estudio en Panamá, que encontró altos rangos de desarrollo en suelos con contenidos deficientes de potasio; lo cual, muestra que no se puede predecir la relación entre el contenido de este nutriente en el suelo y el grado de desarrollo de plantaciones de Teca, ya que este elemento debido a la no disponibilidad no se encuentran presente en los análisis; siendo, en este trabajo el contenido de potasio suficiente para que los árboles de Teca se desarrollen adecuadamente.

Los suelos estudiados en una plantación de Teca en Nayarit (0 a 40 cm de profundidad) muestran condiciones edáficas propicias para su adecuado desarrollo; ya que cumplen con las principales demandas de la especie (químicos y físicos); sin embargo, la plantación Cerritos 1 podría presentar problemas en el crecimiento normal de la especie para la etapa inicial de desarrollo por las condiciones edáficas menos favorables, pudiéndose ver con más influencia, por otros factores externos como precipitación, humedad, etc.

**Tabla 01** *La investigación, su esencia y arte.*

*Características de los suelos de las plantaciones*

Características del suelo	Plantaciones		
	El Mirador 2	Cerritos 1	Cerritos 2
A%	41	69	46
R%	35	15	30
L%	24	16	24
Textura	Fr	Fa	Fra
pH	5.6	5.3	5.5
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.45	0.39	0.72
MO%	3.6	2.3	3.1
CIC (meq/100g)	34.85	16.77	32.91
P (mg/l)	13	13	31
Ca (cmol/l)	24.74	15.11	19.82
Mg (cmol/l)	28.94	5.00	9.92
K (cmol/l)	1.01	0.79	1.43

## 5.2. Comportamiento de la concentración foliar en las plantaciones de Teca

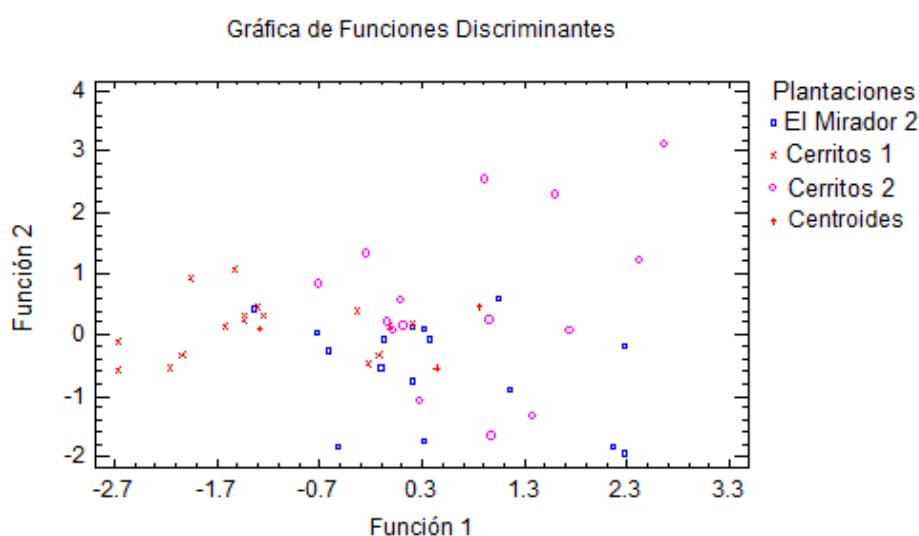
La consideración de la variación de los elementos foliares en las hojas de Teca es una herramienta de utilidad para complementar la interpretación de la variación de las propiedades del suelo, ya que en este tipo de tejido, existe mayor información sobre las concentraciones y estado nutrimental de las especies vegetales (Bertsch 1995, Drechsel y Zech 1991).

A continuación se presentan los resultados de los análisis foliares de acuerdo al análisis discriminante descriptivo, donde se evaluaron las variables de clasificación (plantaciones) respecto a las variables independientes en forma conjunta de los contenidos foliares (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, manganeso, cobre y hierro) de manera que se pudiera analizar el comportamiento de dichos nutrientes con relación a las características del suelo en las tres plantaciones evaluadas.

En la Figura 02 se puede observar como se distribuyen los contenidos foliares de los nutrientes, notándose como la función discriminante uno separa a las plantaciones el Mirador 2 y Cerritos 2 de la plantación Cerritos 1; las cuales se agrupan hacia la sección derecha de la función 1 y la plantación Cerritos 1 está definida hacia el lado izquierdo de la misma función; mientras que en la función discriminante dos, no se aprecia una separación bien establecida entre las condiciones edáficas de las plantaciones. Esto representa que los contenidos foliares de los nutrientes de Teca tendrán variaciones similares en las plantaciones el Mirador 2 y Cerritos 2 debidas a características similares en ellas a diferencia de la plantación Cerritos 1.

**Figura 02**

*Gráfica de funciones discriminantes en las plantaciones de Teca*



En este análisis (Tabla 02) se determinó que los contenidos foliares de calcio, magnesio y manganeso, fueron los responsables de la definición y separación de las plantaciones. Debido a las características del suelo (Tabla 01), los contenidos foliares de calcio, magnesio y manganeso presentaron la mayor variación.

**Tabla 02**

*Coefficientes de la función discriminante para plantaciones*

<b>Nutrientes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca	-1.81813	0.402576
Mg	1.35553	-1.27235
Mn	0.747747	1.03338

La variación en el contenido foliar de estos nutrientes, es dado por la variación en la concentración de calcio y magnesio en el suelo, los cuales se encuentran en el rango medio en la plantación Cerritos 1 y en el rango alto se encuentran en las plantaciones el Mirador 2 y Cerritos 2; por lo tanto, esta disminución en la concentración contribuirá a que la especie tenga menor disponibilidad de estos nutrimentos en la plantación Cerritos 1, esto indica la relación entre la concentración de calcio y magnesio foliar con la concentración del calcio y magnesio del suelo, que permite diferenciar estas plantaciones en la presente investigación. Vallejos (1996), encontró también relación para estos elementos y menciona que, al aumentar la concentración de calcio en el suelo, aumenta la concentración foliar de calcio y magnesio, diferenciándose con lo encontrado por Rodas (2006), quien no encontró una relación entre estos nutrientes a nivel del suelo y a nivel foliar. Con respecto al contenido foliar de manganeso, en el suelo de la plantación Cerritos 1, el pH es bajo, y el contenido de calcio, magnesio y potasio es menor producto de la lixiviación, permitiendo que sean reemplazados por elementos como el aluminio, hidrógeno y manganeso (PPI 1997), y teniendo mayor disponibilidad de manganeso; asimismo, (Montero 1999) encontró que a medida que se eleva la concentración de calcio, magnesio, potasio y el pH, la concentración de manganeso baja en las hojas de Teca.

En la Tabla 03, se muestra la confirmación de la separación de grupos, donde la función anterior clasificó correctamente el 60% de las parcelas dentro de los grupos, donde los nutrimentos calcio, magnesio y manganeso son los que más contribuyen a explicar las diferencias entre los dos grupos de plantaciones formado, por la plantación el Mirador 2 y Cerritos 2 en un grupo y la plantación Cerritos 1 en otro grupo.

**Tabla 03***Clasificación para plantaciones de acuerdo al análisis discriminante*

Actual Plantación	Tamaño de grupo	Predicho		
		El Mirador 2	Cerritos 1	Cerritos 2
El Mirador 2	16	9	3	4
		-56%	-19%	-25%
Cerritos 1	16	3	12	1
		-19%	-75%	-6%
Cerritos 2	16	7	1	8
		-44%	-6%	-50%

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 60%

**5.3. Diagnóstico nutrimental de las plantaciones de Teca**

A pesar de ser una especie ampliamente utilizada en plantaciones y de gozar de gran interés técnico científico en el mundo, existe poca información sobre un diagnóstico certero en relación al contenido nutrimental de las hojas de Teca y su relación con el crecimiento, así como de sus requerimientos nutrimentales bien definidos. Sin embargo, por medio de una guía para la interpretación de análisis foliar compilada por Alvarado (2006) de las publicaciones hechas por Drechsel y Zech (1991) y Boardman *et al.* (1997) en términos de los muestreos planteados, fue posible caracterizar el estado nutrimental foliar de la plantación de Teca, se consideraron los siguientes valores y de los cuales se encontraron en este trabajo algunas variaciones de gran interés:

**Tabla 04***Condición nutrimental foliar en plantaciones de Teca esencia y arte.*

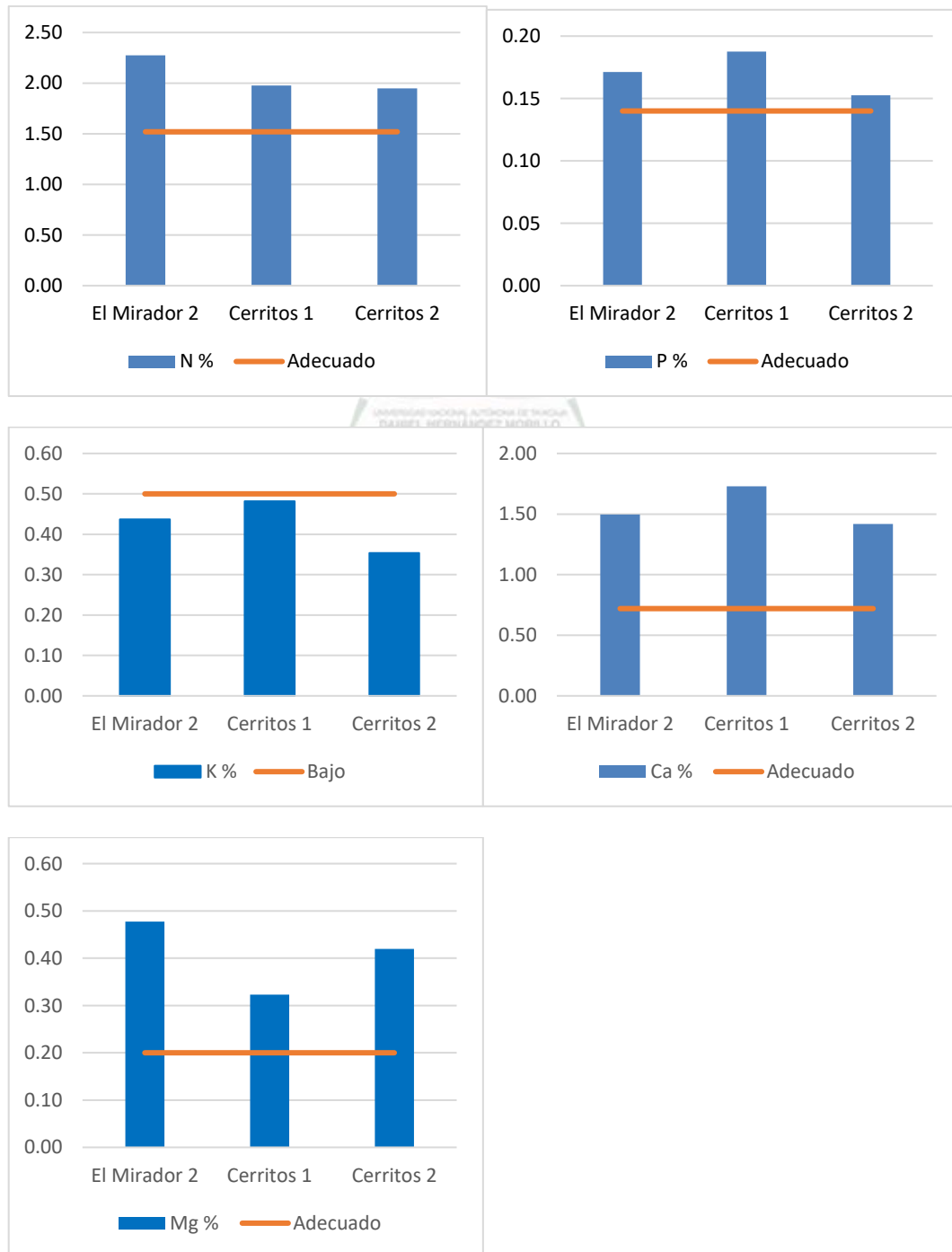
Nutrientes	Condición			
	Deficiente	Bajo	Adecuado	Alto
N%	<1.20	1.20-1.51	1.52-2.78	
P%	<0.10	0.10-1.13	0.14-0.25	0.4
K%	<0.5	0.50-0.79	0.80-2.32	2.33
Ca%	<0.55	0.55-0.71	0.72-2.20	>2.20
Mg%	<0.10	0.10-0.19	0.20-0.37	>0.37
Cu mg/kg		<8	10-25	>25
Zn mg/kg		11-19	20-50	>50
Mn mg/kg	<30	30-49	50-112	>112
Fe mg/kg			58-390	379-1074

Adaptado: Drechsel y Zech (1991); Boardman *et al.* (1997)

En la Figura 03 y Figura 04 se presenta la distribución por plantación y el contenido foliar de los macronutrientes y micronutrientes, respectivamente, delimitado por una línea horizontal, donde indica la condición de los nutrientes, de acuerdo con la clasificación de Drechsel y Zech (1991).

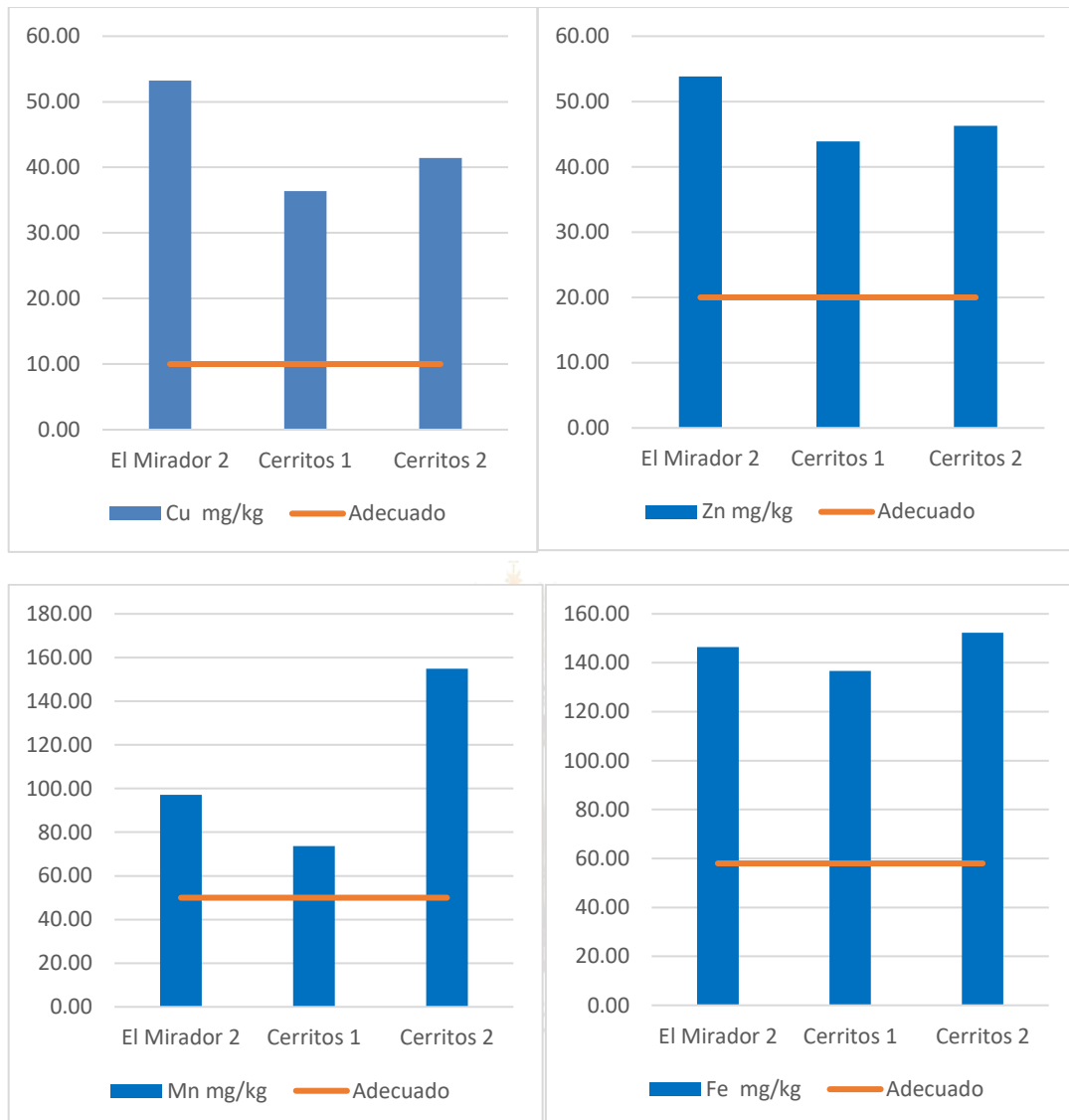
**Figura 03**

*Nivel de suficiencia del contenido foliar de los macronutrientes en las plantaciones de Teca*



**Figura 04**

*Nivel de suficiencia del contenido foliar de los micronutrientes en las plantaciones de Teca*



Se puede apreciar que, en la gran mayoría de los nutrientes estudiados en las muestras foliares, los contenidos encontrados se pueden considerar como niveles adecuados. Sin embargo, es necesario realizar algunas aseveraciones específicas de gran trascendencia para la toma de decisiones y por el aporte al conocimiento científico de esta especie forestal y los cuales serán expuestos y detallados a continuación.

De lo más destacado, podemos señalar que, en relación al potasio, se encontraron niveles inferiores a los reportados por uno de los trabajos más seguidos relacionados a los requerimientos nutrimentales. Este nutriente tiene cierta influencia en el crecimiento en esta etapa de desarrollo de Teca pudiéndose considerar que bajo estas condiciones los valores obtenidos de potasio en los rangos de 0.35% a 0.44% son suficientes para el

crecimiento de Teca en plantaciones bajo condiciones similares a las del sitio de estudio, siendo 1.43 veces mayor, lo reportado por Drechsel y Zech (1991) como nivel adecuado. Al igual que para potasio, se encontró un nivel adecuado para hierro en un rango de valores de 136.70 mg/kg a 152.31 mg/kg, siendo 2 veces mayor el rango considerado por Drechsel y Zech (1991) como adecuado, bajo esta condición podría considerarse que el rango encontrado en el presente trabajo, es el necesario para la especie en esta etapa de desarrollo.

Son escasas las publicaciones reconocidas de investigaciones realizadas en torno al diagnóstico nutrimental, mediante análisis foliar en plantaciones de Teca, en la Tabla 05 se presenta a manera de resumen los valores reportados de cuatro de los principales trabajos publicados para Centroamérica y los encontrados en el presente trabajo, los cuales permiten hacer de manera más certera el diagnóstico de la plantación estudiada y una mejor discusión de los resultados encontrados.

**Tabla 05**

*Comparación de investigaciones realizadas en Centro América con el presente trabajo*

Investigador y País	Edad Plantación	Contenido foliar				
		N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Vallejos (1996) Costa Rica	2 a 5 años	s/d	0.22	1.6	0.87	0.25
Montero (1999) Costa Rica	2 a 45 años	1.88	0.18	1.16	1.3	0.32
Mollinedo (2003) Panamá	3 a 4 años	s/d	0.15	1.33	0.99	0.34
Rodas (2006) Guatemala	5 a 7 años	2.18	0.16	1.4	1.35	0.29
Presente investigación	2 años	2.07	0.17	0.42	1.55	0.41

En general, al agrupar los resultados de las cinco investigaciones se puede hacer el siguiente diagnóstico, los contenidos foliares de los nutrientes nitrógeno, fósforo y calcio se concentran en niveles similares, concordando los valores expuestos en todos los casos; magnesio presentó en esta investigación un nivel mayor al promedio reportado en los otros trabajos; por lo que respecta al potasio, como ya fue señalado se encontró un nivel más bajo de lo reportado en las publicaciones citadas, dicha disparidad de información entre las investigaciones citadas obedece al tratamiento silvícola de las plantaciones, condiciones edafoclimáticas, densidad de árboles por hectárea, entre otros.

Finalmente, se puede concluir que la plantación de Teca en el estado de Nayarit evaluada, presenta un estado nutrimental adecuado para su buen desarrollo y aportó nuevos hallazgos e información complementaria de gran utilidad relacionada con el comportamiento nutrimental de la especie en esta etapa de crecimiento.

#### 5.4. Evaluación de las variables de crecimiento

Con el fin de conocer el comportamiento de la especie y evaluar su crecimiento durante el periodo del presente estudio que constituye la primera fase de establecimiento de la plantación y la cual determina las bases para posteriores etapas de desarrollo, se consideraron las variables altura del árbol, DAP, área basal y volumen.

El análisis de varianza (ANOVA) para el crecimiento en Teca con respecto a la altura total del árbol (H), diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB) y volumen maderable (V), mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ) entre las plantaciones evaluadas (Figura 05). El mirador 2 y Cerritos 2 no mostraron diferencias significativas en la altura total del árbol (H). La prueba de Tukey corroboró que El Mirador 2 fue la plantación que mayor H (5.76 m), DAP (7.76 cm), AB (0.00497 m<sup>2</sup>) y V (0.01516 m<sup>3</sup>) tuvo en promedio árbol; con respecto a Cerritos 1, esta fue la plantación de menor crecimiento (Anexo 2), pudiéndose atribuir a las características más desfavorables que presentó su suelo y las cuales fueron discutidas y presentadas anteriormente (Tabla 01).

En relación al crecimiento evaluado para esta especie en otros trabajos en el estado de Nayarit, se reportaron una altura inicial 0.91 y de 2.53 m en plantaciones de 13 meses del municipio de Bahía de Banderas, Nayarit y una altura de 0.75 m en el municipio de Rosamorada, Nayarit en una plantación de 15 meses, mencionando Parada (2000) que se encuentran estas plantaciones en lugares considerados óptimos y adecuados por las características de precipitación y temperatura que presentan con respecto a su lugar de origen de esta especie; en este sentido, el suelo que presentó mejor crecimiento en dichos trabajos era franco arenoso, mientras que en el presente trabajo los de mejores desarrollos fueron franco arcilloso y franco arcillo arenoso; presentando los menores crecimientos en el sitio con suelo de textura franco arenoso. En la plantación de la presente investigación, son mayores los crecimientos con respecto a las plantaciones de los dos municipios mencionados; debido al manejo que se le viene dando como aplicación de fertilizantes y riego de auxilio (mes de enero).

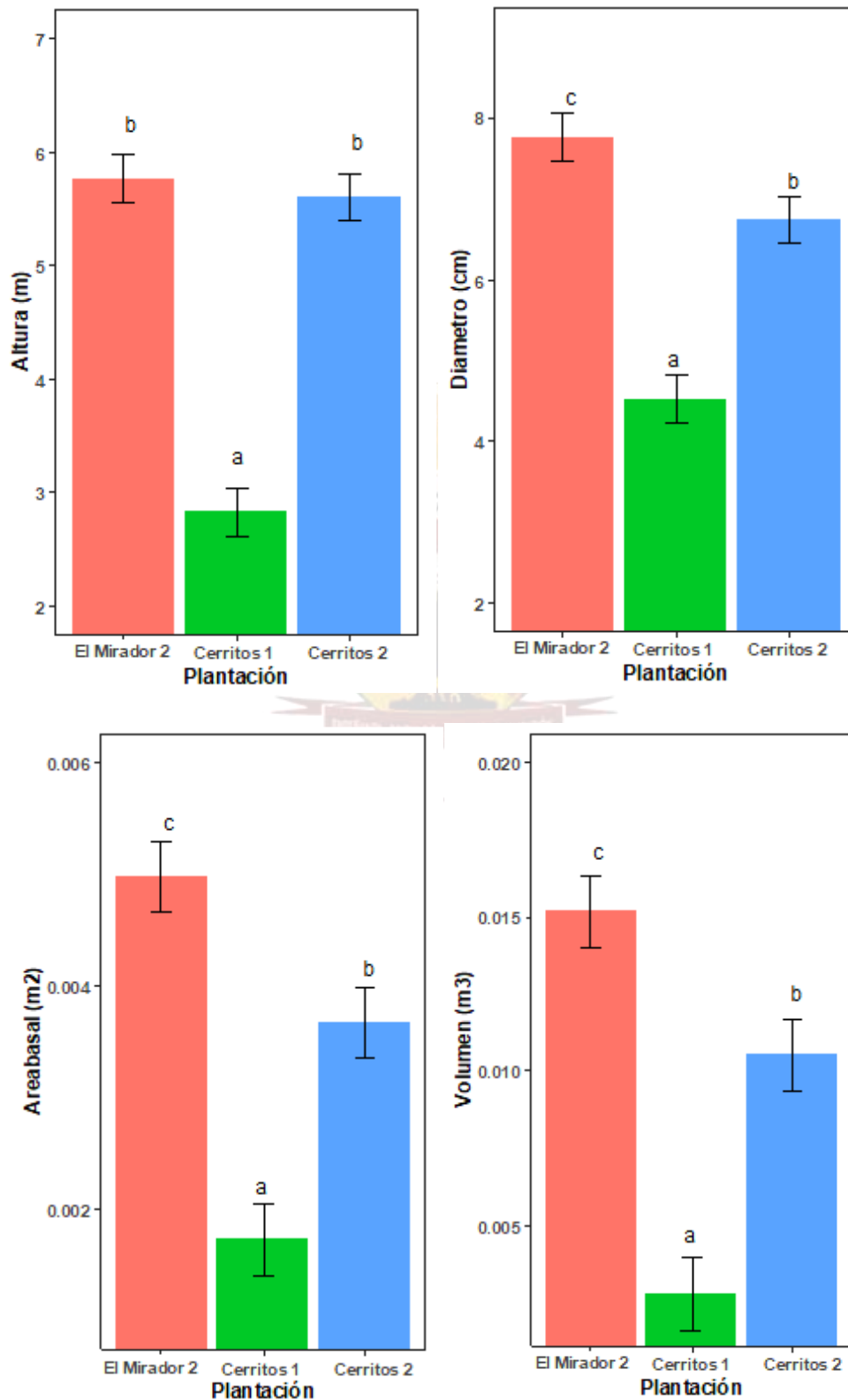
Musálem (2007), Arteaga y Castelán (2008) y De Camino y Morales (2013) señalaron que el manejo silvícola de las plantaciones, los espaciamientos (árbol - árbol), los sistemas de plantación y la edad, pueden acelerar o desacelerar el crecimiento y productividad de la Teca. Entre los 3 y 5 años, la progresión en crecimiento en altura es



acelerada (3 a 15 m promedio árbol), lo que favorece rápidos incrementos en AB y V; aunque en edades superiores a los 15 años, dicha progresión se desacelera.

**Figura 05**

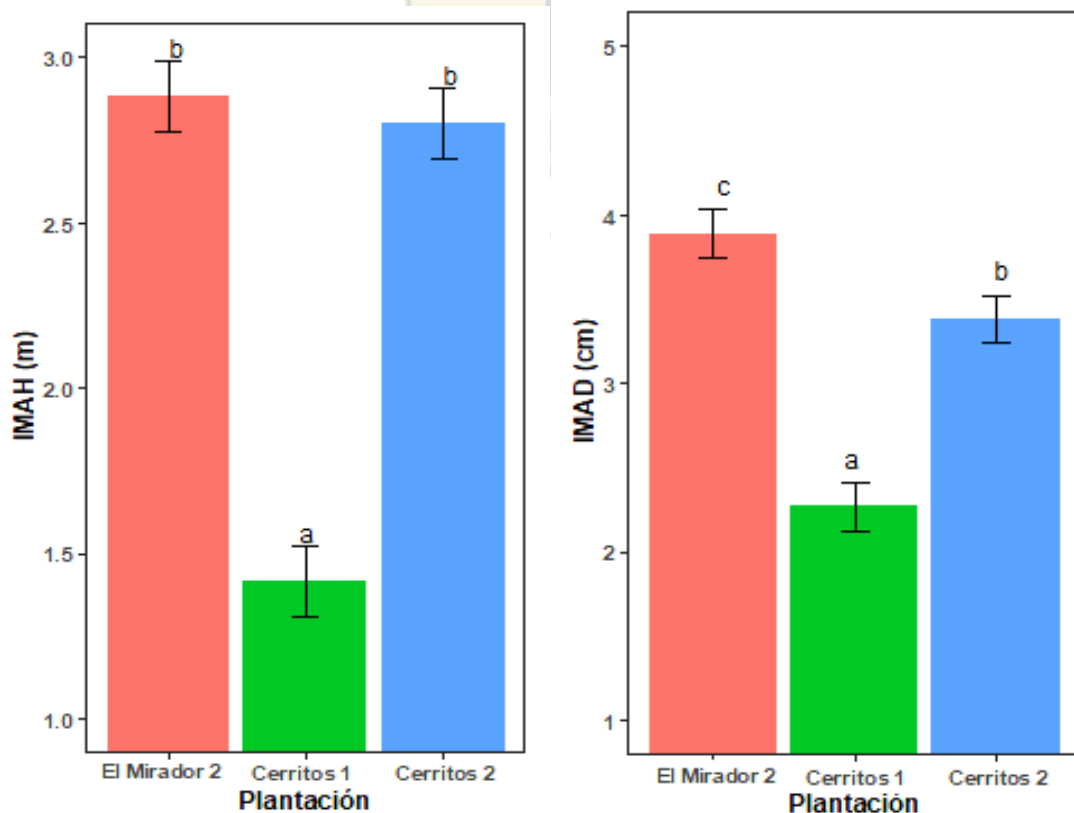
Comportamiento del crecimiento en las plantaciones de Teca



El análisis de varianza (ANOVA) para el crecimiento en Teca con respecto a los incrementos medios anuales de altura (IMAH) y de diámetro (IMAD), mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ) entre las plantaciones evaluadas (Figura 06). El mirador 2 y Cerritos 2 no mostraron diferencias significativas en el incremento de altura (H). La prueba de Tukey demostró que El Mirador 2 fue la plantación con mayor IMAH (2.88 m) e IMAD (3.88 cm) que tuvo en promedio árbol; con respecto a Cerritos 1, esta fue la plantación que tuvo menor incremento (Anexo 2). Referente al comportamiento de incrementos en plantaciones forestales comerciales, Mollinedo *et al.* (2005) mencionaron que en Panamá, en plantaciones establecidas de 3.6 años, la calidad de los sitios condiciona el crecimiento de Teca, ya que obtuvieron IMAH de 1.81 m año<sup>-1</sup> e IMAD de 1.99 cm año<sup>-1</sup> en lugares de calidad baja; IMAH de 2.77 m año<sup>-1</sup> y el IMAD de 2.77 cm año<sup>-1</sup> en lugares de calidad media; y un IMAH de 3.72 m año<sup>-1</sup> y el IMAD de 3.67 cm año<sup>-1</sup> en lugares de calidad alta; colocando a las plantaciones del Mirador 2 y Cerritos 2 en sitios de calidad alta.

**Figura 06**

*Comportamiento del incremento medio anual en las plantaciones de Teca*



## 5.5. Relación de nutrientes foliares con el crecimiento

Uno de los factores más trascendentes del presente trabajo, es la evaluación de la relación de contenidos nutrimentales foliares y las variables de crecimiento (altura y DAP) en esta especie para esta importante etapa de desarrollo, lo que aportó hallazgos de gran utilidad en relación a lo reportado en trabajos anteriores que valoraron estos factores; en este sentido, en la Tabla 06 se presenta los coeficientes de correlación entre las variables evaluadas de Teca

Al encontrar diferencias en el crecimiento en las plantaciones el Mirador 2 y Cerritos 2 con respecto a la plantación Cerritos 1, se procedió a trabajar solo con los datos de las primeras plantaciones mencionadas. Cabe señalarse que se encontró valores bajos de correlación cuando se incluyó a la plantación Cerritos 1, por la característica textural franco arenosa con respecto a las plantaciones el Mirador 2 y Cerritos 2, las cuales presentan texturas con mayor proporción de fracción arcillosa, y su separación queda evidenciado en el análisis discriminante.

El análisis de correlación mostró una asociación estadística que fue significativa ( $p < 0.05$ ) entre altura del árbol y el contenido foliar de fósforo, con una relación alta ( $r = 0.8578$ ) y el DAP y el contenido foliar de potasio, también mostró una asociación estadística significativa ( $p < 0.05$ ), con una relación alta ( $r = 0.8008$ ), por lo tanto lo anterior indica que a medida que se incrementa la altura de los árboles y el DAP, se incrementa el contenido de fósforo y potasio en las hojas respectivamente; en este sentido Montero (1999), refiere que árboles jóvenes demandan mayor cantidad de estos elementos para realizar sus funciones de desarrollo en la etapa juvenil que en la madurez.

Lo anterior indica que una parte importante de la variación en el crecimiento de Teca en Nayarit podría explicarse por el contenido foliar de fósforo y potasio. Sin embargo, desde el punto de vista de Tewari (1999) el fósforo no es un nutriente esencial para el adecuado crecimiento de Teca, debido a que encontró en bosques naturales con suelos pobres de fósforo disponible, altas densidades de Teca. Por otra parte, en los llanos occidentales venezolanos, en plantaciones de distintas edades (2, 7, 12 años), Mothes *et al.* (1991) al estudiar las limitaciones nutricionales causadas por fósforo en la biomasa radicular, manifiestan que este nutriente se presenta en forma limitada en los rodales de mayor edad, debido a que el fósforo ha sido utilizado durante las sucesivas etapas de desarrollo; lo cual, ha ocasionado un bajo rendimiento particularmente en la biomasa

radicular e incidirá sobre la producción y el aspecto fitosanitario del sistema forestal a un largo plazo.

Estudios en Panamá por parte de Mollinedo (2003) indica que con respecto a fósforo y potasio encontró altos grados de desarrollo en suelos con niveles deficientes de estos elementos; por lo cual, no se puede deducir la relación entre la concentración de estos nutrientes en el suelo y el grado de desarrollo de plantaciones de teca. Mientras que Hernández *et al.* (1993) y Rodas (2006), encontraron al potasio como el único nutriente que presentó una relación positiva entre el contenido foliar y su desarrollo de Teca en Venezuela y en Guatemala.

El análisis de correlación mostró una asociación que fue significativa ( $p < 0.05$ ) entre altura del árbol y el contenido foliar de magnesio y cobre respectivamente, pero la relación fue moderada ( $r = -0.7396$ ,  $r = -0.7311$ ), y el DAP y el contenido foliar de fósforo y hierro, también mostró una asociación significativa ( $p < 0.05$ ), pero asimismo la relación fue moderada ( $r = 0.7444$ ,  $r = -0.7095$ ), por lo tanto no se presentó una tendencia definida con respecto al contenido de estos nutrientes y las variables de crecimiento.

**Tabla 06**

*Correlación de nutrientes foliares y crecimiento*

Nutrientes foliares	Altura		DAP	
	r	Valores-p	r	Valores-p
N	0.4513	0.2617	0.5828	0.1294
P	0.8578	0.0064*	0.7444	0.0341*
K	0.6315	0.0930	0.8008	0.0169*
Ca	-0.5942	0.1203	-0.5496	0.1581
Mg	-0.7396	0.0359*	-0.6535	0.0788
Cu	-0.7311	0.0393*	-0.6535	0.0788
Zn	-0.0650	0.8783	-0.6774	0.0649
Mn	-0.6150	0.1046	-0.0235	0.9558
Fe	-0.0443	0.9170	-0.7095	0.0487*

## 6. CONCLUSIONES

- Los contenidos foliares de Ca, Mg y Mn fueron los más importantes para clasificar a las plantaciones, con respecto a algunas características edáficas de las mismas (pH, textura y cationes intercambiables).
- Los contenidos foliares de fósforo y potasio tuvieron una relación estadística positiva alta con la altura y el DAP en plantaciones de Teca.
- Los contenidos de potasio reportados como bajos fueron suficientes para el desarrollo de Teca en Nayarit, principalmente en el DAP.
- La concentración foliar mostró que todos los nutrientes evaluados fueron suficientes para cubrir la demanda durante los primeros años de establecimiento de las plantaciones de Teca.



*La investigación, su esencia y arte.*

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con este tipo de trabajo de investigación en la misma plantación y en plantaciones de la región que tengan diferente edad para que el ámbito de exploración sea mayor y los resultados obtenidos contribuyan de manera significativa al conocimiento global de la especie durante su ciclo de vida.
- A partir de los datos obtenidos en la investigación se recomienda trabajos de campo que permitan evaluar el uso y aplicación de insumos fertilizantes con relación a las demandas encontradas de la especie.
- Los análisis foliares ofrecen información que permite planificar programas de fertilización para esta etapa de crecimiento en dependencia de las características edáficas y el contenido de dichos nutrientes.



*La investigación, su esencia y arte.*

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántar, G.; Sandoval, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C. México. 156 p.
- Alvarado, A. 2006. Nutrición y fertilización de la Teca. Informaciones agronómicas 61. Costa Rica. 8 p.
- Alvarado, A.; Fallas, J. 2004. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la Teca (*Tectona grandis* L.F) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía costarricense* 28(1): 81-87.
- Alvarado, A.; Chavarría, M.; Guerrero, R.; Boniche, J.; Navarro, J. 2004. Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Lf) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 89-100.
- Anantha-Padmanabha, H. 2006. Informe internacional sobre la teca. (Product Disclosure Statement – Rewards Group Teak Project “International Teak Market Report”). 6 pp.
- Arteaga, M.; Castelán, M. 2008. Evaluación dasométrica temprana de una plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el municipio de Huehuetla, Hidalgo. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14 (2): 105-111.
- Balam, C. 2006. Evaluación de tres especies de rápido crecimiento en Nuevo Urecho, Michoacán. Tesis profesional de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Bebarta, K. 1999. Teak; ecology, silviculture, management and profitability. International Book Distributors. India. 380 p.
- Bermejo, I.; Cañellas, I.; San Miguel, A. 2004. Growth and yield models for teka plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 189:97-110.
- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Editorial LIMUSA S.A. México. 340 p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Primera Ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bertsch, F. 1998. 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. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Informe Técnico N° 270. 44 p.
- Boardman, R.; Cromer, R.; Lambert, M.; Webb, M. 1997. Forest Plantations. In: D.J. Reuter, J.B. Robinson (eds.). Plant analysis and interpretation manual. CSIRO Publishing. Australia. 1-2 p.
- Chávez, E; Fonseca, W. 1991. Tectona grandis L.f. especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica. Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple. CATIE. 47 p.
- CONAFOR. 2013. Evaluación de la situación actual de proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales finiquitados. México. 74 pp.
- CONAFOR. 2012. Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, a 15 Años de su Creación. Zapopan, Jalisco, México. 152 p.
- Cortez, G. 2011. Evaluación dasométrica de una plantación comercial de teca (Tectona grandis L.) en Nuevo Urecho, Michoacán. Director: J. Jesús García Magaña. Tesis Ing. Agrónomo Especialidad en Bosques, Uruapan, Michoacan.
- Cutter, B.; Coggeshall, M.; Phelps, J.; Stokke, D. 2004. Impacts of forest management activities on selected hardwood wood quality attributes: a review. Wood and fiber science 36(1): 84-97
- De Camino, R.; Morales, J. 2013. Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades. Serie Técnica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). División de Investigación y Desarrollo. Turrialba, Costa Rica. 392 p.
- Drechsel, P; Zech, W. 1991. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (Tectona grandis) plantations in the rainforest zone of Liberia. Forest Ecology and Management 41:221-235.
- Drechsel, P; Zech, W. 1994. DRIS evaluation of teak (Tectona grandis L.F) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality in teak growth in West Africa. Forest Ecology and Management 70:121-133.
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de teca (Tectona grandis L. f) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 115 pp.



- Galvis, A. 2000. Propuesta para generar indicadores sobre la productividad de los suelos agrícolas. Colegio de postgraduados, Universidad Autónoma de México, Universidad Autónoma Chapingo, México. Tomo I. 351-368 p
- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 657 p.
- González-Martínez, A.; Rojas-Hernández, J.; Jiménez-Gómez, R.; Chavarría-Ñamendi, F. 2013. Evaluación del crecimiento, potencial de secuestro y fijación de carbono de dos especies forestales en el Sistema Agroforestal Taungya en Rivas, Nicaragua. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 11(26): 12-18.
- Hallett, J.; Diaz-Calvo, J.; Villa-Castillo, J.; Wagner, M. 2011. Teak Plantations: Economic Bonanza or Environmental Disaster? . Journal of Forestry 109(5): 288-292
- Helrich, K. 1990. Official Methods of analysis. Association of official analytical chemists. USA. 980 P.
- Hernandez, R.; Torres, A.; Marquez, O.; Franco, W. 1993. Contenido foliar de nutrimentos y crecimiento en plantaciones de Teca en Ticoporo, Venezuela. Turrialba vol.43. No 1. 11-15.
- INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Nayarit 2017. México. 469 p.
- Jayaraman, K. 2011. Report on the International Training Programme on teak Innovations in the Management of Planted Teak, Forests. 31 August - 3 September Kerala Forest Research Institute. Peechi, Kerala, India. 9 p.
- Kollert, W.; Cherubini, L. 2012. Teak resources and market assessment 2010. <http://www.fao.org/docrep/015/an537e/an537e00.pdf>. Consultado: Julio de 2021.
- Kyrkby, E.; Romheld, V. 2008. Micronutrientes en la fisiología de la planta. Informaciones agronómicas 68. Quito, Ecuador. 6 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Trad. por Antonio Carrillo. Eschborn, Alemania, GTZ. 335 p.
- Langenberger, G.; Liu, J. 2013 Performance of smallholder teak plantations (*Tectona grandis*) in Xishuangbanna, south-west China. Journal of Tropical Forest Science 25:289-298.

- 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 Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 89 p.
- Mollinedo, M., Ugalde, L., Alvarado, A., Verjans, J., Rudy, L. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de Teca (*Tectona grandis*), en la zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía costarricense* 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. Universidad austral de Chile, Valdivia/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 63 p.
- Montoya, F. 2000. Mejoramiento de la productividad de *Eucaliptus nitens* al primer año de establecimiento a través del riego y fertilización en un suelo rojo arcilloso del Valle Central de la VIII Región Mulchen. Tesis, Ingeniero Forestal. Universidad Católica de Temuco. Chile. 79 p.
- Moreno, L.; Lopez, M.; Estañol, E.; Velazquez, A. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. en vivero mediante el DRIS. *Madera y Bosques* 8(1): 51-60.
- Mothes, M; Cuevas, E; Franco, W. 1991. Limitación nutricional por fósforo en plantaciones de teca (*Tectona grandis*), en los Llanos Occidentales venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 17:309-315.
- Musálem, M. 2007. Guía silvicultural de teca (*Tectona grandis* L.). In: Musálem, M. A. Memorias del Curso Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Programa de Postgrado. Chapingo, Estado de México, México. 50 p.
- Oliveira, J. 2003. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendacao de calagem de povoamentos de Teca-NUTRITECA. Tesis Maestría. Vicosá, Brasil, Universidad Federal de Vicosá. 79 p.
- Parada, B. 2000. Las plantaciones forestales comerciales de Teca (*Tectona grandis* L.f.), una alternativa de desarrollo para la Región costera del Estado de Nayarit. UACH. México. 27 p.

- Pérez, P. 2009. Fertilización NPK y demanda nutrimental de cuatro especies en fases temprana de crecimiento. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría. H. Cáardenas, Tabasco, México. 88 p.
- PPI, 1997. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Potash and Phosphate Institute. U.S.A. Primera Ed. en español. 140 p.
- PRODEPLAN. 2005. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal. <http://www.mexicoforestal.gob.mx/index.php>. Consultado: Octubre de 2021.
- Rao, Y. 1991. In Teak: Proceedings of the international teak symposium, thiruvananthapuram, Kerala, India. Kerala Forest Department & Kerala Forest Research Institute. 1-6 p.
- Rodas, A. 2006. Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de Teca (*Tectona grandis*) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala. Turrialba, Costa Rica. 105 p.
- Rodríguez, H; Rodríguez, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. Distrito Federal, MÉXICO. Trillas. 196 p.
- Ruiz, B. 2016. Valoración del carbono almacenado en una plantación forestal comercial de teca (*Tectona grandis*) bajo tres condiciones edáficas en Nayarit, México. Tesis de maestría. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Departamento de Madera, Celulosa y Papel Ing. Karl Augustin Grellmann. Zapopan, Jal., México. 84 p.
- Salcedo, E.; Ypushima, A; González, R.; Zamora, F.; Rodríguez, R.; Sánchez, R. 2014. Efecto de las propiedades edáficas y el contenido nutrimental foliar sobre el crecimiento de teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (24): 80-91.
- Saranpää, P. 2003. Wood density and growth. In: Barnett, J.R.; Jeronimidis, G. (Eds.). *Wood Quality and its biological basis*. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA. 226 p.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.
- Tewari, D. 1999. A monograph on Teak (*Tectona grandis* Linn.f.). International Book Distributors. 479 p.
- Ugalde, L. 2003. Advancements on Management and teak Productivity in Central America. Paper presented at the International Conference Quality Timber

Productions of Teak from Sustainable Forest Management. Peechi, Kerala, India. 2-5 December 2003. En prensa.

Vaides, E. 2004. Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L. f.) en plantaciones forestales de diferentes regiones de Guatemala. CATIE. Tesis de Maestría. Turrialba, Costa Rica. 81 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. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 147 p.

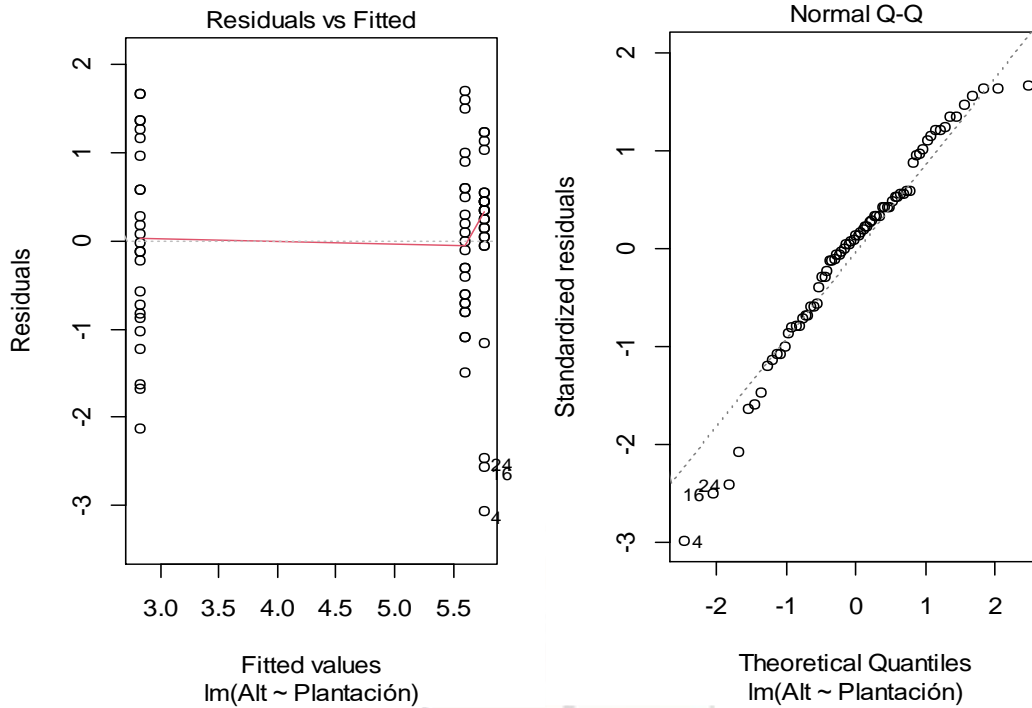
Vargas, M.; Quezada, H.; Morales, M. 2007. Estado actual de las investigaciones de la Teca (*Tectona grandis* L.F.) en el valle de sacta, Cochabamba. Bolivia. 3 p.



*La investigación, su esencia y arte.*

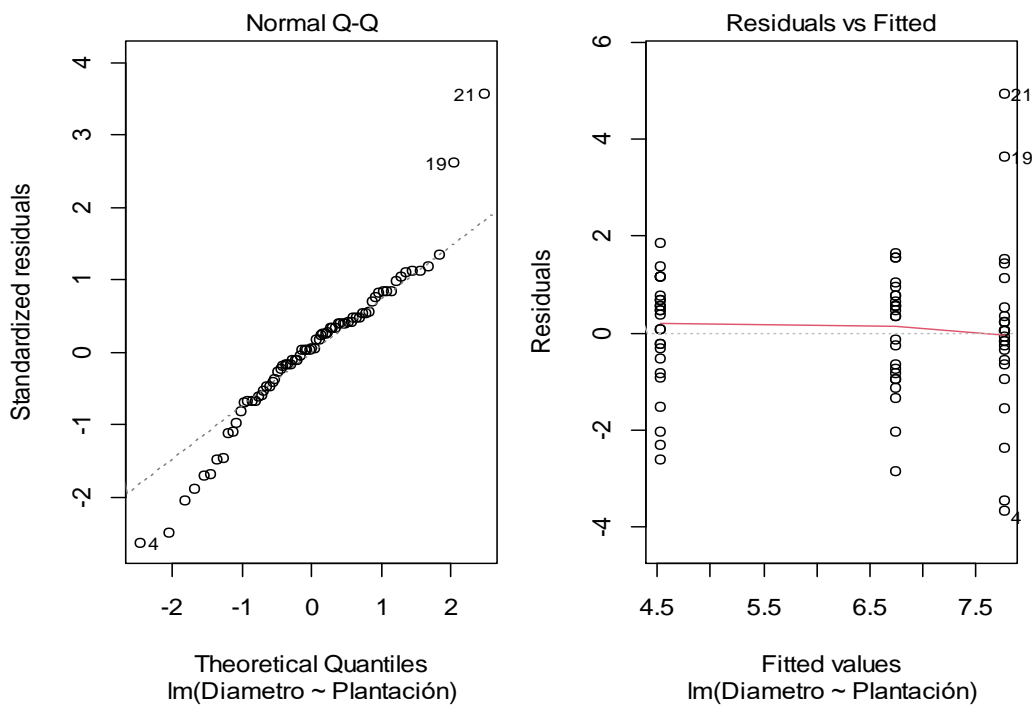
## ANEXOS

**Anexo 1.** Supuestos del crecimiento que presentaron diferencias significativas con respecto a las plantaciones



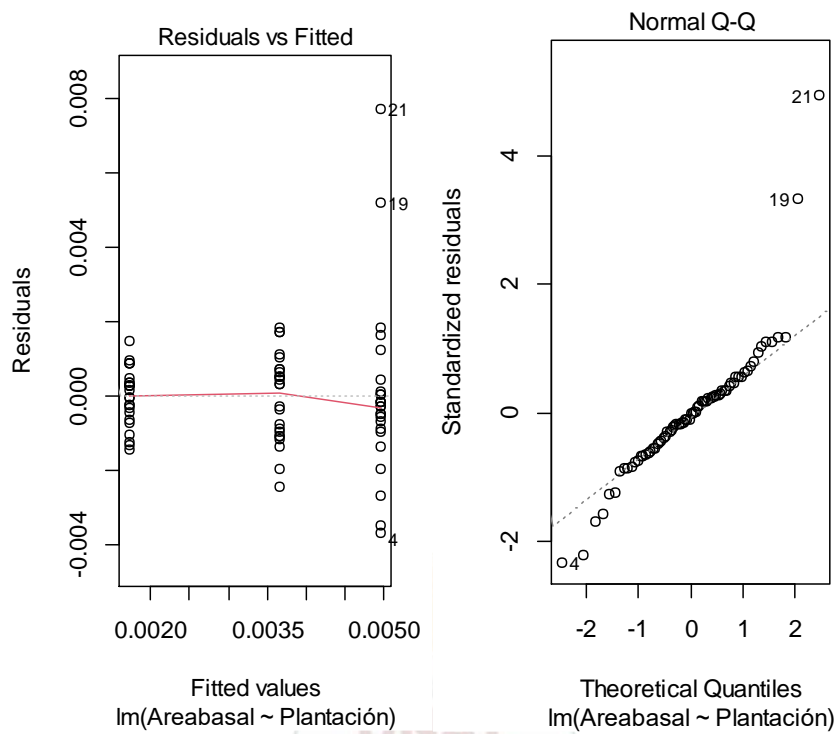
**Figura 07**

*Supuesto de varianza constante y de normalidad de la altura*



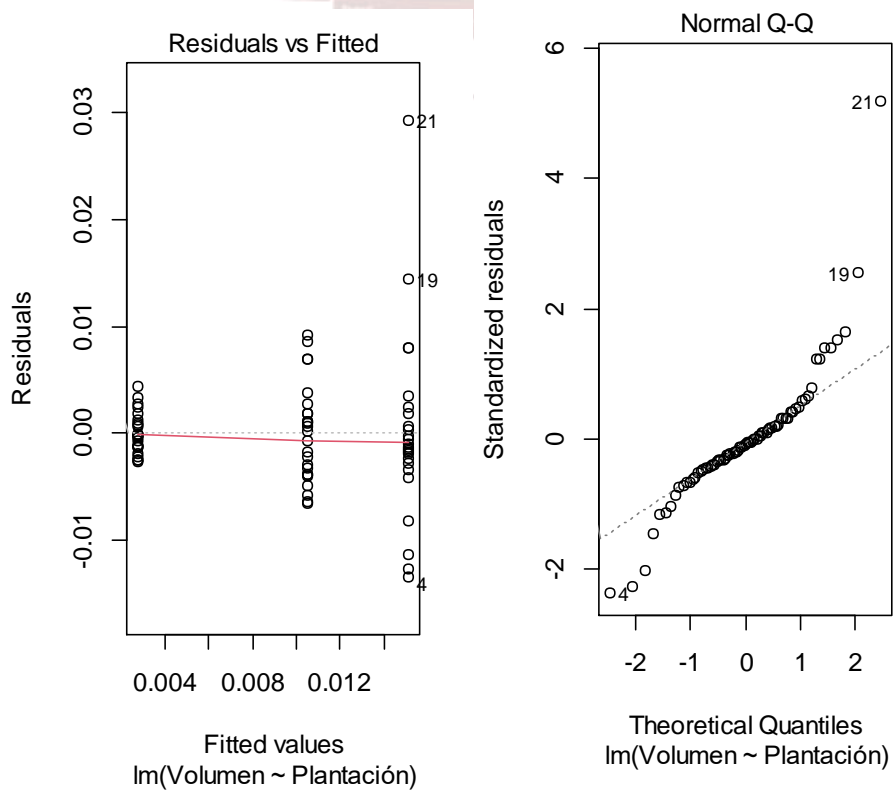
**Figura 08**

*Supuesto de varianza constante y de normalidad del DAP*



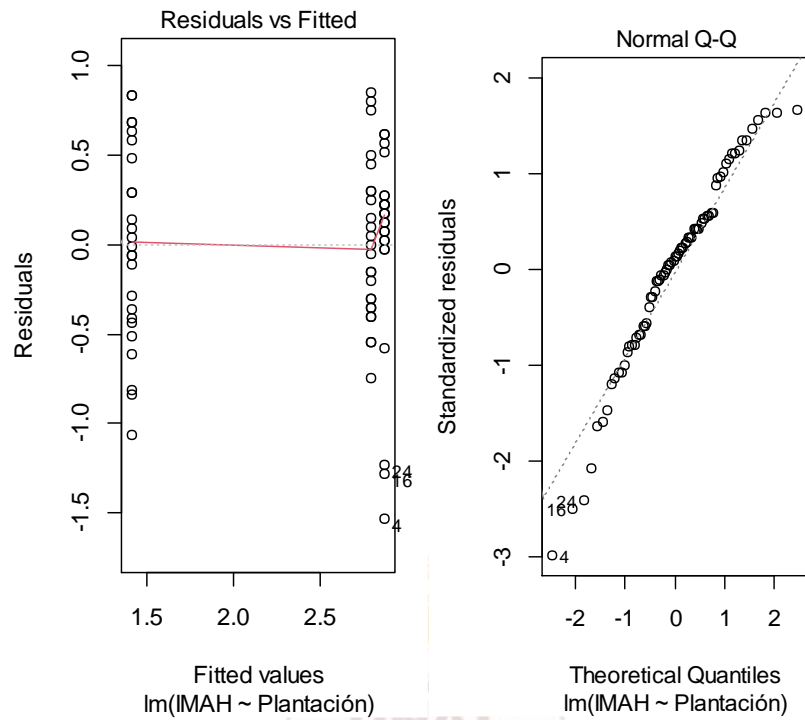
**Figura 09**

*Supuesto de varianza constante y de normalidad del área basal*



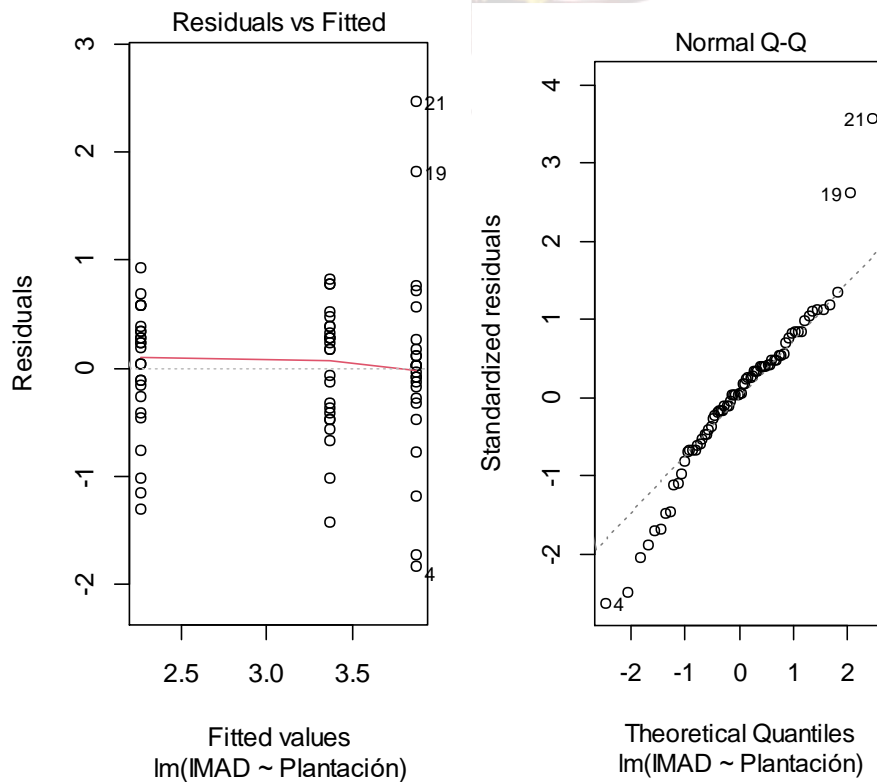
**Figura 10**

*Supuesto de varianza constante y de normalidad del volumen*



**Figura 11**

*Supuesto de varianza constante y de normalidad del IMAH*



## Anexo 2. Pruebas estadísticas de Tukey

Tukey multiple comparisons of means Altura (H)

95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
Cerritos 1-Cerritos 2	-2.934	-3.6397827	-2.2282173	0.0000000
El Mirador 2-Cerritos 2	-0.160	-0.8657827	0.5457827	0.8506085
El Mirador 2-Cerritos 1	2.774	2.0682173	3.4797827	0.0000000

Plantación	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	group
Cerritos 1	2.83	0.209	72	2.32	3.34	a
Cerritos 2	5.60	0.209	72	5.09	6.11	b
El Mirador 2	5.76	0.209	72	5.25	6.27	b

Tukey multiple comparisons of means Diámetro (DAP)

95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
Cerritos 2-Cerritos 1	-3.236	-4.192537	-2.27946334	0.0000000
El Mirador 2-Cerritos 2	-1.020	-1.976537	-0.06346334	0.0339214
El Mirador 2-Cerritos 1	2.216	1.259463	3.17253666	0.0000014

Plantación	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	group
Cerritos 1	4.52	0.283	72	3.83	5.21	a
Cerritos 2	6.74	0.283	72	6.05	7.43	b
El Mirador 2	7.76	0.283	72	7.07	8.45	c

Tukey multiple comparisons of means Área basal (AB)

95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
Cerritos 2-Cerritos 1	-0.003248	-0.0043261565	-0.0021698435	0.0000000
El Mirador 2-Cerritos 2	-0.001308	-0.0023861565	-0.0002298435	0.0134245
El Mirador 2-Cerritos 1	0.001940	0.0008618435	0.0030181565	0.0001514



Plantación	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	group
Cerritos 1	0.00172	0.000319	72	0.000945	0.00250	a
Cerritos 2	0.00366	0.000319	72	0.002885	0.00444	b
El Mirador 2	0.00497	0.000319	72	0.004193	0.00575	c

Tukey multiple comparisons of means Volumen (V)

95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
Cerritos 2-Cerritos 1	-0.0123828	-0.016294385	-0.0084712149	0.0000000
El Mirador 2-Cerritos 2	-0.0046196	-0.008531185	-0.0007080149	0.0165762
El Mirador 2-Cerritos 1	0.0077632	0.003851615	0.0116747851	0.0000299

Plantación	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	group
Cerritos 1	0.00277	0.00116	72	-5.31e-05	0.0056	a
Cerritos 2	0.01054	0.00116	72	7.71e-03	0.0134	b
El Mirador 2	0.01516	0.00116	72	1.23e-02	0.0180	c

Tukey multiple comparisons of means Incremento medio anual de altura (IMAH)

95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
Cerritos 2-Cerritos 1	-1.467	-1.8198913	-1.1141087	0.0000000
El Mirador 2-Cerritos 2	-0.080	-0.4328913	0.2728913	0.8506085
El Mirador 2-Cerritos 1	1.387	1.0341087	1.7398913	0.0000000

Plantación	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	group
Cerritos 1	1.41	0.104	72	1.16	1.67	a
Cerritos 2	2.80	0.104	72	2.55	3.05	b
El Mirador 2	2.88	0.104	72	2.63	3.13	b

Tukey multiple comparisons of means Incremento medio anual de diámetro (IMAD)

95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
Cerritos 2-Cerritos 1	-1.618	-2.0962683	-1.13973167	0.0000000
El Mirador 2-Cerritos 2	-0.510	-0.9882683	-0.03173167	0.0339214
El Mirador 2-Cerritos 1	1.108	0.6297317	1.58626833	0.0000014

Plantación	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	group
Cerritos 1	2.26	0.141	72	1.92	2.61	a
Cerritos 2	3.37	0.141	72	3.02	3.72	b
El Mirador 2	3.88	0.141	72	3.53	4.23	c

**Anexo 3.** Tabla de análisis críticos para la interpretación de análisis de suelo

Características	Baja	Media	Alta
pH agua 1:2	< 0.5	5.6 a 6.5	> 6.5
Ca (cmol+)/L)	< 4	4 a 20	> 20
Mg (cmol+)/L)	< 1	1 a 5	> 5
K (cmol+)/L)	< 0.2	0.2 a 0.6	> 0.6
P (mg/L)	< 10	10 a 20	> 20

Fuente: Bertsch (1998).

**Anexo 4.** Colección fotográfica



Fotografía 01. Plantación El Mirador 2



Fotografía 02. Plantación Cerritos 01



Fotografía 03. Plantación Cerritos 02



Fotografía 04. Medición de altura



Fotografía 05. Colecta de hojas



Fotografía 06. Muestreo de los suelos



*La investigación, su esencia y arte.*