



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

**FERTILIZACIÓN INICIAL DE PLANTACIONES
COMERCIALES DE TECA (*Tectona grandis* Linn F.) EN EL
MUNICIPIO DE BALANCÁN, TABASCO.**

MANUEL ANASTACIO BALAM CHE

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

La presente Tesis titulada "Fertilización inicial de plantaciones comerciales de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en el municipio de Balancán, Tabasco", realizada por MANUEL ANASTACIO BALAM CHE, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

FORESTAL

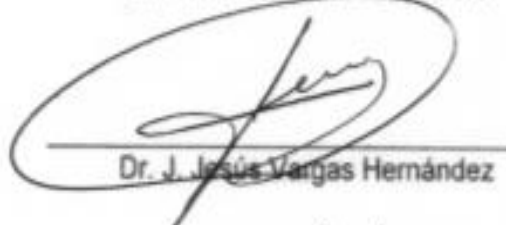
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Armando Gómez Guerrero

ASESEOR



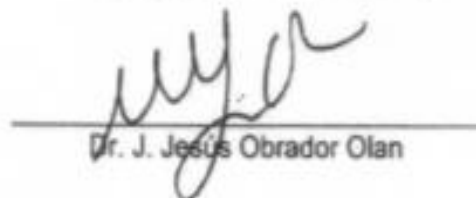
Dr. J. Jesús Vargas Hernández

ASESOR



Dr. Arnulfo Aldrete

ASESOR



Dr. J. Jesús Obrador Olan



RESUMEN

FERTILIZACIÓN INICIAL DE PLANTACIONES COMERCIALES DE TECA (*Tectona grandis* Linn F.) EN EL MUNICIPIO DE BALANCÁN, TABASCO

Manuel Anastacio Balam Che, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

Se ensayaron niveles de fertilización de N,P,K, en Teca (*Tectona grandis* Linn F.) con un experimento establecido en 2009, en el municipio de Balancán Tabasco. Se probaron tres niveles de cada factor N, P y K generando 27 combinaciones de un experimento factorial y los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar. En forma paralela se establecieron parcelas aledañas para probar el efecto de la aplicación de micronutrientes. Los niveles de fertilización se identificaron como medios, si correspondían a la dosis aplicada previamente a otras plantaciones y, altos y bajos según se encontraran 50% arriba y debajo de esta dosis. Las variables de respuesta fueron los incrementos de 2010 a 2012, en diámetro y área basal a nivel del suelo, altura total e incremento en volumen. Los resultados mostraron efecto positivos a crecientes dosis de N para diámetro a la base. La interacción de nutrientes aplicados no fue significativa. Contrario a lo esperado, el K en dosis altas influyó negativamente en el crecimiento. Es posible que los resultados limitados del efecto de la fertilización se expliquen porque el suelo donde se estableció el experimento poseen buen abastecimiento de Ca y Mg (16 y 2.6 Cmolc kg⁻¹, respectivamente), que son elemento muy demandados por la Teca. El efecto negativo del K es difícil de explicar, pero pudo estar relacionado con un desbalance de bases en la zona de intercambio al aplicarlo en dosis altas. La aplicación de micronutrientes no mejoró los incrementos.

Palabras clave: *Plantaciones tropicales, suelos tropicales, crecimiento inicial*

ABSTRACT

INITIAL FERTILIZATION OF COMMERCIAL PLANTATION OF TEAK (*Tectona grandis* Linn F.) IN THE MUNICIPALITY OF BALANCÁN, TABASCO.

**Manuel Anastacio Balam Che, MC.
Colegio de Postgraduados, 2013**

Different levels of N,P,K fertilization were tested in Teak (*Tectona grandis* Linn F.) with an experiment established in 2009 in the municipality of Balancán, Tabasco. Three levels of each factor, N,P,K, generated 27 combination of a factorial experiment and treatments were arranged in random block design. In a parallel way, twin plots were established to test the effect of adding micronutrients. The levels of fertilization were identified as medium if the fertilization was similar to that applied previously to other plantations of Teak, high and low if the amount of fertilizations 50% higher or lower than that of the medium level. Response variables were increments from 2011 to 2012, in diameter and basal area at the ground level, total height and volume. Results showed that increasing doses of N had positive effect on basal diameter. Interaction of nutrients was not statistically significant. Unexpectedly, high doses of K negatively affected tree growth. It is possible that limited effects of the fertilization are explained because the soil of the experiment has good levels of exchangeable Ca and Ma (16 y 2.6 Cmolc kg⁻¹, respectively), which are nutrients highly demanded by teak. The negative effect of K is difficult to explain but, may have been related to an unbalance in the exchange zone when applied in high doses. The addition of micronutrients did not improve tree growth.

Keywords: *Tropical plantations, tropical soils, initial tree growth*

DEDICATORIA

A Dios por concederme la salud, alegría y vivir cada día.

Gracias por concluir estos logros, en conjunto con mi amada esposa María Concepción Melina Mata Baca y mi progenitor Emmanuel Balám Mata, por estar siempre unidos como familia.

A mis padres, Manuel Anastacio Balám Maas y Virginia Che Ehuán por enseñarme valores, la humildad, el respeto, la lealtad, quienes me han apoyado moralmente para salir adelante.

A mis hermanos Luz del Alba, Guillermo, Flor de Lirio, Alejandra y Susana Guadalupe por su cariño y apoyo incondicionalmente a lo largo de estos años y por compartir los buenos y difíciles momentos, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi sincero agradecimiento a las siguientes Instituciones y personas:

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) quien a través del apoyo que otorga, permite que jóvenes de superación y de trabajar en beneficio de su país, continúen sus estudios.

Al **Colegio de Posgraduados** por permitirme cursar el grado académico y ser parte de su comunidad.

A la Empresa Agropecuaria Santa Genoveva, por brindarme el apoyo para realizar el presente trabajo.

Al asesor de tesis, Dr. Armando Gómez Guerrero por su gran apoyo profesional y por concluir el presente trabajo.

A los miembros del Consejo Particular: Dr. Armando Gómez Guerrero, Dr. J. José Vargas Hernández, Dr. Aldrete Arnulfo, Dr. José Obrador Olan y al Dr. Antonio Trinidad Santos (Postgraduados Forestal, Colegio de Postgraduados, Campus, Montecillo), quienes me ayudaron con su asesoría y amistad a culminar de la mejor manera el trabajo de Tesis.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos (Postgrado de Edafología) por su apoyo moral y académico, sus consejos y amistad.

Al Ing. Miguel Ángel Giner Jiménez por su apoyo para el desarrollo del presente trabajo en la fase de campo.

A mi colega y compañero de generación MC. Prócoro Gómez Martínez, por su gran apoyo y amistad.

Quisiera expresar mis agradecimientos a todas y cada una de las personas que contribuyeron a la realización de la presente Tesis.

A todos y cada uno de los profesores que estuvieron en esta parte de mi formación, por enseñarme, puntos de vista y visiones todas enriquecedoras.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Descripción de la especie	3
2.2. Requerimientos de la especie	4
2.3. La Teca en áreas fuera de su distribución natural	5
2.4. Fertilización de la especie	6
2.5. Funciones de los macronutrientes en las plantas	9
2.5.1. Nitrógeno	9
2.5.2. Fósforo	9
2.5.3. Potasio	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Descripción general del área de estudio	11
3.1.1. Localización y ubicación	11
3.1.2. Orografía	12
3.1.3. Hidrografía	12
3.1.4. Clima	12
3.1.5. Suelo	13
3.2. Producción de la planta	13
3.3. Preparación del terreno	14
3.4. Establecimiento de la plantación	14
3.5. Análisis de suelo	14
3.7. Diseño experimental	17
3.8. Fertilización	20
3.9. Toma de datos de campo	21
3.10. Análisis estadísticos	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23

4.1. Variables dasométricas medidas en 2011	23
4.2. Variables dasométricas medidas en 2012.	23
4.3. Incrementos 2011-2012	25
4.3.1. Efecto de N	25
4.4.2. Efecto de P	27
4.4.3. Efecto de K	28
4.4.4. Tendencia de la combinación de tratamientos	29
V. CONCLUSIONES	31
VI. LITERATURA CITADA	32
VII. ANEXOS	39

ÍNDICE DE CUADROS

No.		Página
Cuadro 1	Variables del suelo de la parcela "Rancho las Palmas".....	16
Cuadro 2	Nivel de fertilidad del suelo en las plantaciones de Teca.....	17
Cuadro 3	Tratamientos y niveles de fertilización incluidos en el factorial 3^3	17
Cuadro 4.	Cantidades netas de fertilizante aplicadas por tratamiento en el experimento establecido en el "Rancho las Palmas", Balancán, Tabasco.....	19
Cuadro 5.	Significancia (P) obtenida en el análisis de varianza para las mediciones de 2011.....	23
Cuadro 6.	Significancia (P) obtenida en el análisis de varianza para las mediciones de 2012 en un experimento de fertilización de Teca.....	24
Cuadro 7.	Significancia (P) obtenida en el análisis de varianza para los incrementos en el periodo 2011-2012 en un experimento de fertilización de Teca.....	25
Cuadro 8.	Resumen del análisis de varianza para los incrementos obtenidos del 2011 al 2012 en la plantación de Teca.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

No.		Página
Figura 1.	Localización del área de estudio. Predio de la plantación experimental "Rancho Las Palmas", municipio de Balancán, Tabasco.....	11
Figura 2.	Climograma que presenta los datos de temperatura en °C y precipitación en mm medias mensuales.....	13
Figura 3.	Diseño de la parcela y unidades experimentales de 5 árboles Sin Micros (Verde) Con Micros (amarillo).....	20
Figura 4.	Relación de cambio en crecimiento entre parcelas con y sin Micros. No hay una clara tendencia de superar la línea punteada que indica una relación 1:1.....	24
Figura 5.	Efecto de dosis de N en el incremento en diámetro para la especie de Teca.....	27
Figura 6.	Efecto de dosis de Potasio en el incremento en diámetro de árboles de (Teca).....	28
Figura 7.	Efecto de la dosis de Potasio en el incremento en volumen del tronco en árboles de (Teca).....	29
Figura 8.	Tendencia del incremento en área basal a nivel del suelo en la plantación de Teca estudiada, de acuerdo a la combinación de tratamientos.....	30

I. INTRODUCCIÓN

Se estima que la superficie de plantaciones forestales en el mundo es de 270 millones de ha y alrededor del 76% de éstas se establecieron con fines productivos, principalmente para abastecer de madera y celulosa la industria. El 24% restante se estableció con fines de protección y rehabilitación del suelo y cuerpos de agua (FAO, 2002; FAO, 2005).

La tasa anual de expansión de las plantaciones forestales en el mundo es de 4.5 millones de ha, pero las regiones de Asia y América del sur son las que más aportan a la expansión. De todas las plantaciones establecidas en el mundo, se estima que sólo 66% llegan a ser exitosas, debido a que no se analizaron previamente las condiciones del sitio y la selección de especies apropiadas (FAO, 2002).

Aunque México cuenta con una amplia superficie forestal representada por aproximadamente por 64 millones de ha de bosques y selvas, la tasa de deforestación llega a ser hasta del 2% en las selvas y de 1.5% en bosques templados (Torres, 2004), reduciendo la superficie forestal del país. La deforestación es promovida por el crecimiento poblacional, índice de marginación y pobreza que se manifiesta con las prácticas de apertura de áreas para la agricultura, pastoreo y urbanización (Velázquez *et al.*, 2002). Las plantaciones forestales pueden ayudar a disminuir la presión sobre los bosques naturales (Evans, 2009); por esta razón el incremento en la superficie de plantaciones forestales en países en desarrollo es importante. De acuerdo a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2011^a) en México se ha apoyado el establecimiento de 202,163.24 ha para plantaciones forestales comerciales, con la finalidad de reducir la dependencia de las importaciones de productos

forestales, sin embargo, en esta cifra se consideran plantaciones para productos forestales maderables y no maderables.

Una especie forestal exótica que recientemente ha ganado atención en México es la "Teca" (*Tectona grandis* Linn. F.), la cual se ha probado como un cultivo forestal intensivo en los estados de, Campeche, Chiapas, Michoacán, Tabasco, Nayarit y Veracruz (CONAFOR, 2011^b). Aunque en los estados mencionados existen plantaciones forestales comerciales de Teca, no existe mucha información escrita sobre las experiencias de cada proyecto, para ayudar a nuevos plantadores u organizaciones interesados en cultivar la especie.

El presente trabajo se llevó a cabo para contribuir a reducir la falta de información técnica sobre el crecimiento de plantaciones de Teca en México y tuvo como objetivo probar diferentes niveles de fertilización inicial (en los primeros dos años) en plantaciones comerciales de teca en la región de Balancán, Tabasco. Lo anterior, con la finalidad proyectar el potencial productivo de la especie en ésta región y tener evidencia experimental de que la región de Balancán puede convertirse en una de las regiones más importantes del país para la producción de madera con sistemas de manejo intensivo.

1.1 Objetivo

- Evaluar el efecto de la fertilización de N, P, K y microelementos en el crecimiento inicial de Teca en la región de Balancán, Tabasco.

1.2 Hipótesis

- a) La fertilización con N, P, K y microelementos incrementa la productividad inicial de plantaciones de Teca en la región de Balancán, Tabasco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción de la especie

Tectona grandis L. f. (Teca) es una latifoliada de la familia Verbenácea que crece en bosques de tipo monzónico (lluvias intensas en verano) y húmedo tropical. Se cree que esta especie se originó de las regiones de Birmania, la Península de la India, al oeste de Tailandia e Indonesia (Betancurt, 1987; Chávez y Fonseca, 1991; Weaver, 1993; Biscoe, 1995). Es un árbol caducifolio que presenta alturas de 20 a 30 m en plantaciones establecidas fuera de su origen, pero en su lugar natural alcanza los 50 m, es de fuste recto y su diámetro puede alcanzar hasta 2 m. Su corteza muerta es de color café o castaño claro, escamosa y presenta grietas superficiales; la corteza es blanquecida. Las hojas son opuestas, grandes de 11 a 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, color pecíolos limbo membranáceos o subcariáceos. Sus flores son pequeñas y actinomorfas, bisexuales, inconspicuas en inflorescencias de color lila y dispuestas en grandes panículas terminales (de 40 cm hasta 1.0 m de largo), erectas y ramificadas; cáliz gris con 6 lóbulos campanulados, corola con 6 lóbulos extendidos con sendos estambres epipétalos, ovario de 4 células, estilo delgado, estigma bilobular. El fruto es una drupa de color castaño claro cuando madura, es subgloboso, más o menos tetrágono, aplanado; exocarpo delgado, algo carnosos cuando fresco y tomentoso; endocarpo grueso, óseo, corrugado con cuatro celdas que encierran generalmente 1 o 2 semillas de 5 mm de largo (Longwood, 1962; Betancourt, 1987; Chávez y Fonseca, 1991; Fonseca, 2000).

La madera es modernamente dura, pesada y presenta anillos de crecimiento, la albura es color amarillo claro y el duramen de color verde oliva que al cortarse se torna café oscuro (Chávez y Fonseca, 1991; Castillo, *et al.*, 1993; Biscoe, 1995). La Teca es una especie exótica que ha ganado importancia en México por su rápido crecimiento, aceptación en el mercado

nacional como producto maderable y las perspectivas económicas en proyectos comerciales.

2.2. Requerimientos de la especie

La Teca requiere de climas con temperatura media anual cercana a 24 °C, con una mínima de 17 °C y máxima de 45 °C, una precipitación media anual de 1,578 mm, una mínima de 625 mm y máxima de 3,000 mm y soporta de 3 a 5 meses de sequía por año. (Betancourt, 1987; Chávez y Fonseca, 1991). Algunos autores reportan que la Teca crece bien en zonas húmedas desde el nivel del mar hasta una altitud de 1000 m, aunque también se reporta que la altitud media donde se desarrolla es de 378 m, con extremos de 0 a 1,500 m (Chávez y Fonseca, 1991; Pandey y Brown, 2000).

Esta especie puede tolerar textura de suelo variable, siempre que exista provisión de agua y un drenaje adecuado (Ross, 1959). Los factores limitantes del suelo que pueden afectar la productividad de las plantaciones de Teca son suelos delgados (menores a 60 cm), las capas endurecidas por proceso de formación del suelo o por mal manejo, condiciones de anoxia, baja capacidad de intercambio de cationes y un bajo contenido de Ca y Mg intercambiables. Es sensible a las deficiencias de fósforo que son comunes en los suelos del trópico (Streets, 1962; Chávez y Fonseca, 1991).

Las plantaciones de Teca prosperan en suelos de origen geológico variado, tanto en suelos de granito, esquistos y otras rocas metamórficas, como en roca caliza. No obstante el crecimiento es pobre si se establece sobre suelos calcáreos someros. La Teca requiere de suelos fértiles para su crecimiento óptimo, especialmente los suelos ricos en Ca (con más del 3 % de Ca disponible para el intercambio) y en Mg (Salazar y Albertin, 1974, citado por Briscoe, 1995).

Para establecer plantaciones de Teca deben evitarse: a) vertisoles, que son suelos con alto contenido de arcilla y en ocasiones son suelos mal

drenados, o suelos de las partes bajas de laderas con problemas de anegamiento por periodos prolongados asociados con horizontes gléicos; b) suelos poco profundos, dentro de estos los Entisoles que presentan un horizonte A muy delgado, con afloramiento rocoso o roca a poca profundidad; c) cimbras de pendientes muy secas sin horizontes B, o con riesgos por fuertes vientos; y d) climas con distribución de lluvias concentrada en períodos cortos de dos meses ya que estos climas no favorecen el almacenamiento de agua en el perfil del suelo. Cuando la Teca se planta en lugares con sequías prolongadas tiende a tirar las hojas dos veces al año, bajando su productividad. Las plantaciones de Teca requieren suelos con pH mayores de 5.5 y altos contenidos de Ca intercambiable (Alvarado, 2006). La especie se adapta a gran variedad de topografía, pero se desarrolla mejor en suelos planos, con textura franco-arenosa o arcillosa. Es altamente demandante de elementos como Ca, P y Mg (Pandey y Brown, 2000).

Vaides (2004) reporta que para establecer plantaciones de teca se deben elegir terrenos con elevaciones menores de 220 m de altitud y que no excedan una pendiente de 40 %, y con poca pedregosidad. De acuerdo con Kaosa-ard (1981), la Teca puede crecer en diversos suelos, pero su desarrollo es mejor en suelos profundos, bien drenados y fértiles. El pH óptimo del suelo, de acuerdo a este autor, es de 6.5 a 7.5. El contenido de calcio es un factor importante, ya que la falta de calcio en el suelo se refleja en árboles raquíticos.

2.3. La Teca en áreas fuera de su distribución natural

La Teca fue introducida en Trinidad y Tobago en 1913 con semillas procedentes de Tenasserin en Birmania (Beard, 1943). Se han establecido plantaciones de Teca en Filipinas, África, Guayana Británica, Puerto Rico, Cuba, Haití, Jamaica, Trinidad, Honduras, Camboya, Laos, Vietnam (Norte y Sur) y en América Latina (Longwood, 1962; Kukachka, 1970). También se documenta la introducción de Teca en el sur de Florida y en la mayoría de los países tropicales como Panamá, Colombia, Venezuela y Brasil (Little *et al.*, 1967). Esta especie se introdujo en el año de 1961 en el Campo Experimental "Ing.

Eduardo "Sangri Serrano" municipio de Escárcega, Campeche con procedencia de Trinidad-Tobago (Juárez, 1981).

Tectona grandis como material vegetal ha sido ampliamente distribuida, exportándose semilla de Trinidad y Tobago a Belice, Antigua Republica Dominicana, Jamaica, Costa Rica, Cuba, Colombia, Venezuela Haití, Puerto Rico, Ecuador, Argentina, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá, Guayana Francesa y México (Chávez y Fonseca, 1991).

2.4. Fertilización de la especie

Ali y Tahir, (2002) realizaron estudios de fertilización de plantaciones de Teca; los resultados mostraron que la altura y el diámetro de los árboles fueron afectados por la fertilización de N y P. Plaster (1985), por su parte, menciona que el buen suministro de nitrógeno es importante para que las plantas de Teca alcancen un crecimiento vigoroso, hojas grandes y tallos largos.

Kishore (1987) reportó que el fósforo influyó en el incremento en altura de Teca en los dos primeros años de su establecimiento, aunque no se observó un efecto favorable sobre el crecimiento en diámetro.

Fonseca (2000) recomienda para la especie en estudio aplicar fertilizantes al menos una vez por año hasta el cierre de copas. Asimismo, indica que la aplicación de macro-nutrientes (N-P-K) produce un incremento en diámetro y altura.

Para Teca se recomienda aplicar fertilizante al establecimiento de la plantación (15 a 30 días) y posteriormente durante su desarrollo. Una dosis común varía de 50 a 100 gr por planta utilizando una fórmula 17-17-17, 10-34-6, 10-28-6, 5-30-10, 10-30-10 y 5-30-6 de N P K respectivamente (SIRE, 2005). Como se observa, en la mayoría de las dosis mencionadas, fósforo es el elemento en mayor proporción.

Se ha demostrado que la aplicación de fertilizante incrementa el diámetro y la altura de los árboles de Teca y la respuesta se atribuye al mejoramiento de las condiciones nutricionales de la planta. La respuesta se refleja en incrementos en la concentración foliar de nutrientes y en un rápido cierre de la copa de los árboles, lo que suprime el crecimiento de malezas, en particular gramíneas, con lo que se reduce la competencia por nutrientes y agua (Alvarado, 2006).

En Panamá, Montero (1995) encontró que la mejor respuesta a la fertilización en plantaciones de Teca de 5 años de edad se obtuvo con la dosis de 254.7 g/árbol con la fórmula 12-24-12 de N-P-K, con un crecimiento de 5.32 m en altura y un diámetro de 5.48 cm, y un volumen de 77.77 dm³. Los tratamientos con dosis 84.9 g/árbol y 169.8 g/árbol fueron superados estadísticamente.

Nwoboshi (1984) encontró que los requerimientos nutrimentales de Teca aumentan con la edad y su demanda a partir de 9 años es en el siguiente orden: K>Ca>N>P>P>Mg, ya que se requiere de la regulación de la presión osmótica y de la formación de pared celular. Llama la atención la demanda de cationes como K y Ca en plantaciones de Teca ya establecidas.

Mollinedo (2003) y Vaides (2004) trabajaron plantaciones de Teca en Guatemala y confirmaron el requerimiento alto de calcio para el desarrollo de Teca, describiéndola como especie basófila, que necesita cantidades de Calcio mayores de 8 Cmol₍₊₎ kg⁻¹ para lograr un buen crecimiento. Este elemento es de gran importancia para que la especie pueda satisfacer sus necesidades fisiológicas durante los primeros años en plantaciones.

El nitrógeno (N), cuando se aplica en combinación con fósforo (P), puede aumentar o reducir el crecimiento de la Teca; al respecto, Chávez y Fonseca (1991) señalan que la variabilidad en el efecto quizás se deba a la

variabilidad de suelos y procedencias utilizadas en los experimentos. En general, estos dos elementos son considerados como los más importantes para el crecimiento de las especies. Además de estos factores, se afirma que las plantas de Teca parecen sensibles a la deficiencia de calcio (Ca); asimismo, se ha determinado que el aprovechamiento de madera remueve del sitio grandes cantidades de este elemento y que difícilmente pueden ser restituido por la mineralización del mismo, lo que debe tomarse en cuenta para la repoblación de esta especie (Chávez y Fonseca 1991). Víctor de Oliveira (2003) recomienda utilizar fertilizante mineral con Fe, Mg y Cu para tener éxito en las plantaciones de Teca.

Singh (1997) reporta un experimento de fertilización en plántulas de Teca de un año de edad establecida en Kerala, India. Los resultados mostraron que la mejor respuesta a la fertilización se obtuvo con la dosis de 30, 6 y 3 gramos de N, P y K, respectivamente, por árbol.

Montero (1999) indica que en Costa Rica la Teca no es tan demandante de altos niveles de Ca en el suelo, ya que encontró un adecuado nivel de desarrollo en plantaciones de 2 a 45 años de edad en zonas con un contenido de Ca que varía de 0.7 a 25 $\text{Cmol}_c \text{kg}^{-1}$, agrega que la Teca es muy eficiente en términos de absorción o re-utilización de P, ya que encontró niveles adecuados a nivel foliar a pesar de deficiencias en la disponibilidad del suelo. También especifica que valores de pH superiores a 5.5 son muy adecuados para el desarrollo de la especie. Víctor de Oliveira (2003) recomienda aplicar 20 a 30 g de fósforo por árbol durante la etapa de crecimiento de la plantación, independientemente del equilibrio nutricional.

2.5. Funciones de los macronutrientes en las plantas

2.5.1. Nitrógeno

El N es un elemento esencial que absorben las plantas en forma soluble: iones de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), y compuestos nitrogenados de bajo peso molecular (Bidwell, 1990). El N forma parte de los aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas, porfirinas, amidas, aminoras además de enzimas. Tiene un papel importante en las reacciones metabólicas, por lo que las plantas exigen grandes cantidades de este elemento, para efectuar un rendimiento en el aumento de volumen y peso (Salisbury y Ross, 1994; Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 1982). Este nutrimento es el que con más frecuencia limitan el crecimiento vegetativo, su disponibilidad depende en gran parte de la actividad biológica del suelo, la cual a su vez requiere condiciones óptimas de humedad, temperatura y aireación.

2.5.2. Fósforo

Las plantas adsorben el P en forma de fosfatos inorgánicos, principalmente como aniones de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} . El pH del suelo controla la abundancia relativa de fosfatos. La máxima asimilabilidad de fosfatos por las plantas se alcanza cuando el pH se mantiene entre 6 y 7. En suelos ácidos, el fósforo se insolubiliza con el aluminio, hierro y manganeso. La planta también, a través de sus enzimas, desprende los grupos fosfatos de los compuestos orgánicos y posteriormente los absorbe. Este elemento, a diferencia del N y del S, no es reducido en la planta al ser asimilado por ella, sino que es incorporado a los compuestos orgánicos en su mismo estado de oxidación (Binkley, 1993; Salisbury y Ross, 1994).

El fósforo forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas. Como constituyente del ATP y muchas coenzimas (*e. g.* NAD.FAD) interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía

(Rodríguez, 1982; Binkley, 1993; FAO, 2002). Cuando se aplica el fósforo durante una estación de crecimiento aumenta el contenido de reservas en el árbol y estimula ampliamente el crecimiento durante el siguiente año (Koslowski, 1971).

2.5.3. Potasio

El K es absorbido por las plantas en forma catiónica (K^+). La adsorción en el suelo depende de la concentración de otros cationes, como el magnesio (Mg^{2+}), por problemas de competencia iónica, en la cual los cationes de doble carga tienen mayor energía de absorción (Rodríguez, 1982). Tiene muchas funciones, estimula las enzimas y es importante en la regulación estomática. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K son menos susceptibles a enfermedades (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2001; FAO, 2002).

Los árboles requieren potasio en grandes cantidades. El potasio cataliza reacciones celulares y una deficiencia de éste impide el metabolismo del nitrógeno y la translocación de carbohidratos. Cuando se presentan deficiencias, el potasio se mueve de tejidos más viejos a los puntos de crecimiento (Koslowski, 1971).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción general del área de estudio

3.1.1. Localización y ubicación

La plantación se estableció en terrenos de la Empresa Agropecuaria Santa Genoveva, en el municipio de Balancán, Tabasco, en el paraje conocido como "Rancho Las Palmas"; que se ubica en las coordenadas geográficas $68^{\circ} 15' 01.4''$ de Latitud Norte y $19^{\circ} 76' 95.33''$ de longitud Oeste, a una altitud de 50 m (Figura 1).

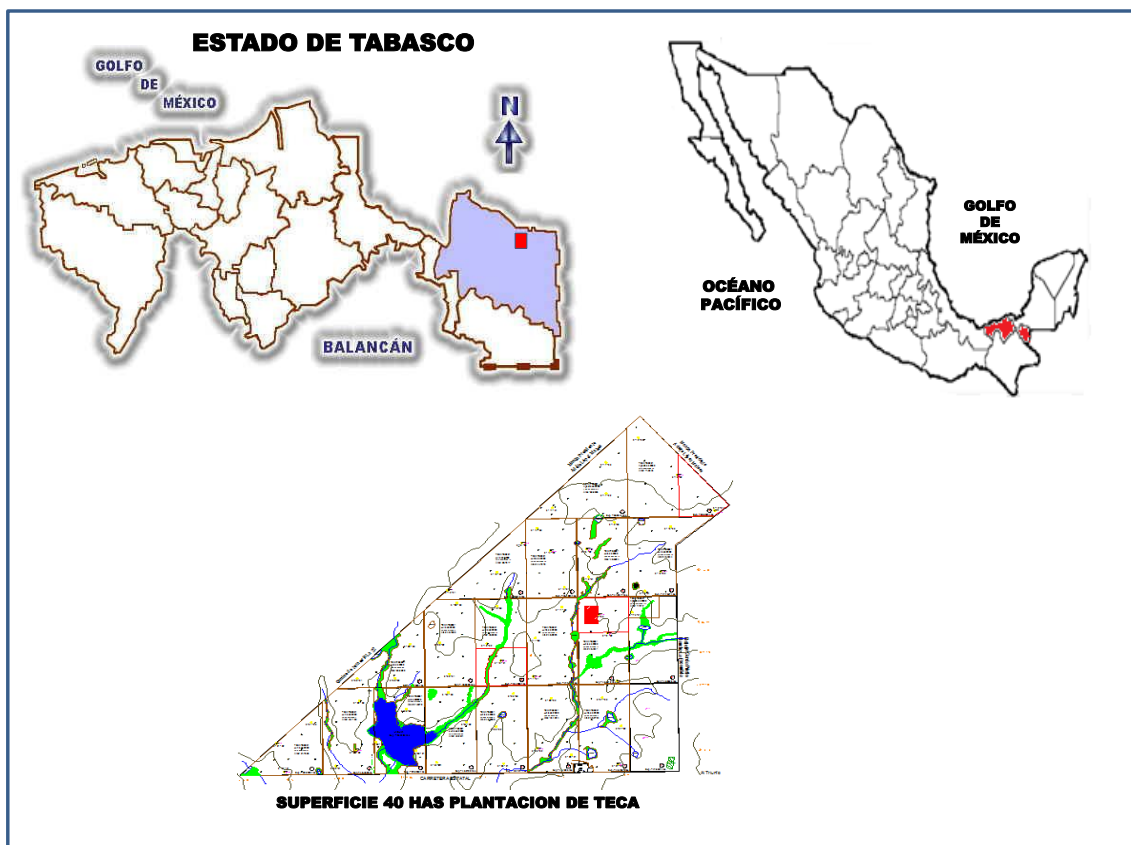


Figura 1. Localización del área de estudio. Predio de la plantación experimental "Rancho Las Palmas", municipio de Balancán, Tabasco.

3.1.2. Orografía

Los terrenos que componen el municipio son generalmente planos con pequeños lomeríos. La altitud de la cabecera municipal, Balancán, es de 30 m y en el municipio la elevación del terreno varía de 10 a 50 m (INEGI, 2006).

3.1.3. Hidrografía

El Municipio se abastece de agua de los Ríos Usumacinta y San Pedro Mártir; éste último se une al Usumacinta frente a la ranchería Bajo Netzahualcóyotl. El Usumacinta durante su curso por el municipio forma pequeñas islas como las de Misicab, Frente Único, Multé y Netzahualcóyotl. En la colindancia con el estado de Campeche corren los ríos Salsipuedes, Chumpán, San Joaquín y Peje lagarto (INEGI, 2006).

En el Municipio se encuentran 48 lagunas, entre las que destacan El Mangal, La Tomasita, Chaschoc, El Chinal, Multé, Suniná, Leona Vicario, San José del Río, Santa Ana, El Guanal y El Lechugal, que junto con 8 arroyos y 3 estanques conforman una superficie de 18,600 ha de agua (INEGI, 2006).

3.1.4. Clima

El clima es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano; tiene una temperatura media anual de 32° C y la mínima absoluta alcanza los 20° C. La precipitación anual es de 1,500 mm, con la mayor ocurrencia de precipitación en los meses de agosto y septiembre, y las mínimas en el mes de abril (INEGI, 2006) (Figura 2).

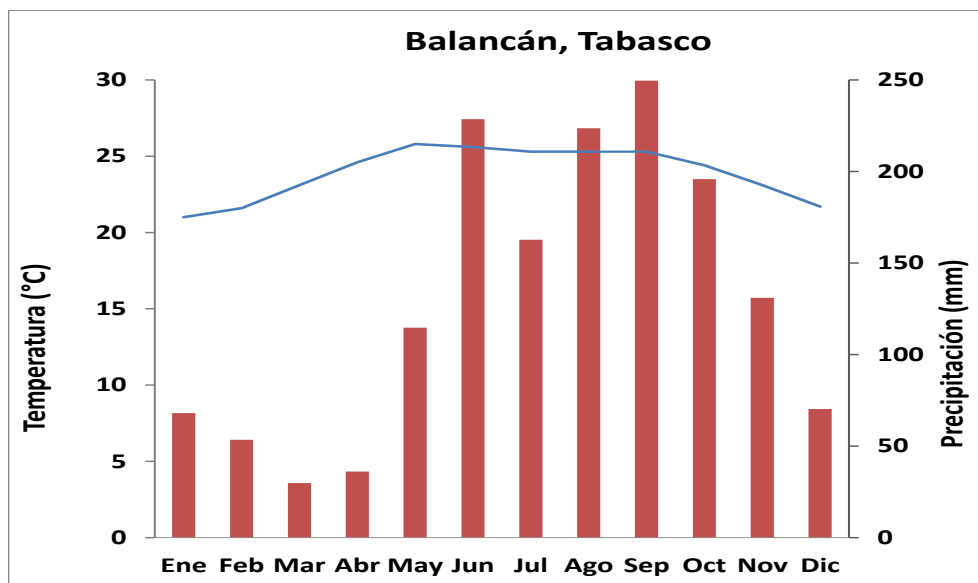


Figura 2. Climograma que presenta los datos de temperatura en °C y precipitación en mm medias mensuales.

De acuerdo a la Referencia Mundial para el Recurso Suelo (FAO, 2006; Geissen *et al.*, 2009), el grupo al que pertenece el suelo del área de estudio es CMeu+CMfgl+GLhuvr/2, que se describe como una asociación de los siguientes tres tipos de suelo y su característica sobresaliente en el horizonte de diagnóstico: (1) Cambisol eutrico, Cambisol Ferrálico y gley y Gleysol húmico y vértico, dominando la textura media. Cambisol, proviene de la palabra latina *cambiare*; son suelos que pueden presentar propiedades gléyicas por saturación con agua durante largos periodos del año y que manifiestan procesos evidentes de reducción asociada a la segregación del hierro, dichos procesos se pueden observar en el perfil por la presencia de colores azulosos o verdosos, ya sea como color dominante o como moteado asociado con colores rojizos, amarillentos u ocre (DETENAL, 1979; Palma-López *et al.*, 2007).

3.2. Producción de la planta

Las plántulas utilizadas para el establecimiento de la plantación en el municipio de Balancán, Tabasco, se propagaron en el vivero del Rancho de la Empresa Santa Genoveva del municipio de Campeche, Campeche. La semilla de *Tectona grandis* L. f. procede de Costa Rica, de rodales semilleros certificados

por CATIE. La semilla se germinó en camas de arena; cuando las plántulas emergieron con las hojas cotiledonares se realizó el trasplante en tubetes de 170, 220 y 310 m³ o jiffis, en un sustrato formado por la mezcla de *peat moss* (50%), vermiculita (25%) y agrolita (25%), con osmocote 17-7-12 (3.5 g/L) y esporas de hongo micorrízicos (0.15 g/L). Para mejorar la calidad del sustrato se mezcló con una maquina mezcladora continua con una capacidad de 0.75 a 3 m³.

3.3. Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en el desmonte y quema de los residuos, una vez preparado el terreno se procedió realizar el subsolado con un tractor agrícola tipo Challenger, con la finalidad de romper capas endurecidas a una profundidad de 60 a 70 cm. El subsoleo también favorece la conservación de humedad, mejora el drenaje, y reduce la resistencia mecánica del suelo.

3.4. Establecimiento de la plantación

La plantación se estableció en junio del 2009, en una superficie de 980-92-09 ha por la Empresa Santa Genoveva. Se utilizaron plantas de 6 meses de edad con una altura promedio de 35 cm. El diseño de plantación fue "Marco real" con espaciamiento de 3.5 x 3.5 m, con 816 árboles ha⁻¹, y se utilizó el sistema de plantación de "Cepa común" con dimensiones de 30 x 30 x 30 cm.

3.5. Análisis de suelo

Previo al establecimiento de la plantación se realizaron muestreos de suelo en el lugar de estudio. Con esta finalidad se excavaron 20 perfiles de suelos de 1.5 m ancho x 1 m de largo x 1 m de profundidad. De cada perfil se tomaron muestras a tres profundidades, 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los análisis de suelo los realizó la compañía Análisis Técnico, S. A. de C. V. y los procedimientos de laboratorio fueron de acuerdo a la Norma Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000,2001, incluyendo pH (KCI M, 1:2), materia orgánica (MO)

(Walkley y Black), P disponible (Bray1 y Olsen), capacidad de intercambio catiónico (CIC), N-NO₃ (Columna de cadmio), Boro (Extracción con CaCl₂), S (Extracción con Ca(H₂PO₄)₂*H₂O), K, Ca, Mg y Na (Acetato de amonio), Fe, Zn Mn, Cu y Mo (DTPA); la textura del suelo (Bouyoucos) y las constantes de humedad del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez con olla y membrana de presión (presiones -0.03 MPa y -1.5 Mpa, respectivamente) y densidad aparente (Método de parafina). El muestreo se realizó en todo el predio, pero para fines de caracterización del experimento, se emplearon estos datos. El estudio de suelo se efectuó el 30 septiembre de 2008 con un muestreo sistemático al centro de cada uno de los 20 lotes que se muestran en la Figura 1.

El Cuadro 1 muestra los estadísticos básicos de las propiedades del suelo en el lugar del experimento y a tres profundidades. En el Cuadro 2 se interpretan las variables del suelo con base en los criterios de Max *et al.*, (1999), y las experiencias de la revisión de literatura. Con relación al pH el suelo es adecuado y con abundantes bases de Ca y Mg (Cuadro 2). Pero su nivel de materia orgánica, K, CIC y P son bajos. Debido al bajo contenido de materia orgánica los niveles de N total también son bajos.

Cuadro 1. Variables del suelo de la parcela "Rancho las Palmas".

Variable	Profundidad de suelo (cm)											
	0-20				20-40				40-60			
	Media	Min	Max	Dev std.	Mean	Min	Max	Std. Dev.	Mean	Min	Max	Std. Dev.
MO %	2.28	0.86	6.04	1.61	0.73	0.13	1.73	1.16	0.49	0.21	1.44	0.36
Arena (%)	58.20	43.50	78.00	11.33	55.32	34.00	74.00	41.64	46.52	36.00	68.00	9.38
Arcilla (%)	26.53	14.00	41.00	9.23	29.63	14.50	51.00	33.14	40.36	20.00	52.00	9.37
Limo (%)	12.23	5.00	17.00	3.39	11.63	7.00	16.50	10.50	10.21	5.00	18.00	3.92
CC (%)	32.70	21.38	45.00	8.92	30.88	18.38	46.88	30.35	40.75	23.63	52.88	8.71
PMP (%)	21.49	15.69	27.51	.46	20.59	14.19	28.44	17.67	25.51	16.78	31.44	4.36
HA %	11.07	5.69	17.50	4.46	10.09	4.19	18.44	12.67	15.03	6.85	21.44	4.35
pH	6.52	5.39	7.59	0.70	6.76	5.56	7.88	4.49	6.90	5.54	7.85	0.81
CE dS/m	0.33	0.21	0.67	0.14	0.27	0.19	0.76	0.52	0.30	0.20	1.26	0.32
A.T.I Cmol _c Kg ⁻¹	0.07	0.00	0.30	0.11	0.09	0.00	0.25	0.11	0.05	0.00	0.23	0.10
HI Cmol _c Kg ⁻¹	0.07	0.00	0.27	0.10	0.08	0.00	0.26	0.12	0.05	0.00	0.23	0.10
AI. I. Cmol _c Kg ⁻¹	0.06	0.00	0.35	0.12	0.10	0.00	0.35	0.16	0.04	0.00	0.19	0.08
Ca++ Cmol _c Kg ⁻¹	13.46	4.15	31.32	9.82	14.19	3.59	36.60	28.00	22.52	9.21	44.84	10.79
Mg+ Cmol _c Kg ⁻¹	2.31	0.90	6.24	1.74	2.12	0.54	6.89	5.31	4.33	1.20	9.84	2.69
K+ Cmol _c Kg ⁻¹	0.28	0.10	1.40	0.39	0.13	0.06	0.44	0.29	0.12	0.08	0.28	0.06
Na+ Cmol _c Kg ⁻¹	0.14	0.08	0.23	0.05	0.24	0.11	0.70	0.48	0.62	0.18	2.07	0.60
CIC Cmol _c Kg ⁻¹	16.98	6.51	35.95	11.01	17.74	4.91	43.92	33.06	28.80	13.28	51.36	11.42
P.O. ppm	4.92	2.44	11.10	3.46	2.41	2.01	3.35	0.53	2.33	1.85	3.11	0.58
P. B. ppm	3.11	1.18	9.62	2.59	1.47	0.54	4.05	2.11	0.76	0.09	4.83	1.62
P. Finas %	0.07	0.00	0.30	0.11	0.09	0.00	0.25	0.11	0.05	0.00	0.23	0.10

Franco-arcillosa-arenoso

Franco-arcillosa-arenoso

Arcillosa-arenoso

MO = Mataría orgánica, CC=Capacidad de campo, PMP = Punto de marchitez permanente, HA= Humedad aprovechable, CE = Conductividad eléctrica A.T.I = Acidez total intercambiable
 HI = Hidrógeno intercambiable, AI I. = Aluminio intercambiable, Ca = Calcio, Mg = Magnesio, K= Potasio, Na = Sodio, P.O Fósforo Olsen P.B. = Fósforo Bray, P.F. =Partículas finas

Cuadro 2. Nivel de fertilidad del suelo en las plantaciones de Teca.

Nivel	pH	MO	Ca	Mg	K	CIC	P	N
Bajo								
Optimo								
Alto								

3.7. Diseño experimental

Se utilizó un experimento factorial 3^3 , con los factores N, P y K, cada uno con tres niveles. La asignación de tratamientos fue de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar. Cada parcela estuvo representada por 5 árboles. Para el establecimiento de una unidad experimental se tomaron hileras de cinco árboles para cada tratamiento. La unidad experimental está definida por 17.5 m de largo X 3.5 m de ancho que corresponde a 61.25 m². La superficie para establecer los 27 tratamientos fue de 3307.5 m² considerando 270 árboles por bloque (Figura 3).

Para definir los tres niveles de cada factor, se tomó en cuenta el nivel tradicional aplicado por la empresa (N,P,K, 30, 30,15 g por árbol), y a partir de dicho nivel, se establecieron otros dos, uno 50 % abajo y el otro 50 % arriba (Cuadro 3). Lo anterior para conocer la respuesta en crecimiento al reducir o aumentar la dosis de fertilización con respecto a la dosis tradicional.

Cuadro 3. Tratamientos y niveles de fertilización incluidos en el factorial 3^3 .

Factores	Niveles (g/árbol ⁻¹)		
	1	2	3
N	N ₋ (15.0)	N ₀ (30)	N ₊ (45.0)
P	P ₋ (15.0)	P ₀ (30)	P ₊ (45.0)
K	K ₋ (7.5)	K ₀ (15)	K ₊ (22.5)

Cada parcela se dividió en dos sub-unidades, en una de ellas se aplicó un complemento de micronutrientes y en la otra no. La finalidad de esta división de la parcela fue conocer el efecto de la aplicación de micronutrientes

acompañado de cada dosis de fertilización. El efecto de micronutrientes se puede evaluar con Análisis de varianza o gráficamente mediante el método de parcelas gemelas propuesto por Stape *et al.*, (2006).

Los fertilizantes utilizados fueron Urea (46-00-00), MAP (11-52-00) y KCI (00-00-60). El nombre comercial del fertilizante con Micronutrientes es Micro mix que es un concentrado de S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Co y Mo y la aplicación correspondió al 3% del peso total de fertilizantes NPK aplicado en cada tratamiento (Cuadro 4).

Al considerar las unidades experimentales con y sin Micros, se generó un total de 54 combinaciones o sub-parcelas. Por lo que con los 4 bloques establecidos el número total de unidades experimentales fue de 216. Cada unidad experimental consistió en una hilera de cinco árboles dando un total de 1080 árboles.

Cuadro 4. Cantidades netas de fertilizante aplicadas por tratamiento en el experimento establecido en el "Rancho las Palmas", Balancán, Tabasco.

Tratamientos	Urea (g)	MAP (g)	KCI (g)	Total sin micros (g)	Micromix (g)	Total con micros (g)	
1	N- P- K-	27.7	28.8	12.5	67.1	2.0	69.1
2	N- P- K ₀	27.7	28.8	25.0	79.6	2.4	81.9
3	N- P- K ₊	25.7	28.7	37.5	92.1	2.8	94.8
4	N- P ₀ K-	18.8	57.7	12.5	89.0	2.7	91.7
5	N- P ₀ K ₀	18.8	57.7	25.0	101.5	3.0	104.6
6	N- P ₀ K ₊	18.8	57.7	37.5	114.0	3.4	117.4
7	N- P ₊ K-	11.9	86.5	12.5	111.0	3.3	114.3
8	N- P ₊ K ₀	11.9	86.5	25.0	123.5	3.7	127.2
9	N- P ₊ K ₊	11.9	86.5	37.5	136.0	4.1	140.0
10	N ₀ P- K-	58.3	28.8	12.5	99.7	3.0	102.7
11	N ₀ P- K ₀	58.3	28.8	25.0	112.2	3.4	115.5
12	N ₀ P- K ₊	58.3	28.8	37.5	124.7	3.7	128.4
13	N ₀ P ₀ K-	51.4	57.7	12.5	121.6	3.6	125.3
14	N ₀ P ₀ K ₀	51.4	57.7	25.0	134.1	4.0	138.1
15	N ₀ P ₀ K ₊	51.4	57.7	37.5	146.6	4.4	151.0
16	N ₀ P ₊ K-	44.5	86.5	12.5	143.6	4.3	147.9
17	N ₀ P ₊ K ₀	44.5	86.5	25.0	156.1	4.7	160.7
18	N ₀ P ₊ K ₊	44.5	86.5	37.5	168.6	5.1	173.6
19	N ₊ P- K-	90.9	28.8	12.5	132.3	4.0	136.2
20	N ₊ P- K ₀	90.9	28.8	25.0	144.8	4.3	149.1
21	N ₊ P- K ₊	90.9	28.8	37.5	157.3	4.7	162.0
22	N ₊ P ₀ K-	84.0	57.7	12.5	154.2	4.6	158.8
23	N ₊ P ₀ K ₀	84.0	57.7	25.0	166.7	5.0	171.7
24	N ₊ P ₀ K ₊	84.0	57.7	37.5	179.2	5.4	184.6
25	N ₊ P ₊ K-	77.1	86.5	12.5	176.2	5.3	181.5
26	N ₊ P ₊ K ₀	77.1	86.5	25.0	188.7	5.7	194.3
27	N ₊ P ₊ K ₊	77.1	86.5	37.5	201.2	6.0	207.2

La Figura 3 muestra la distribución de los tratamientos en un bloque. En el terreno los límites de cada bloque se identificaron con marcas en color rojo.

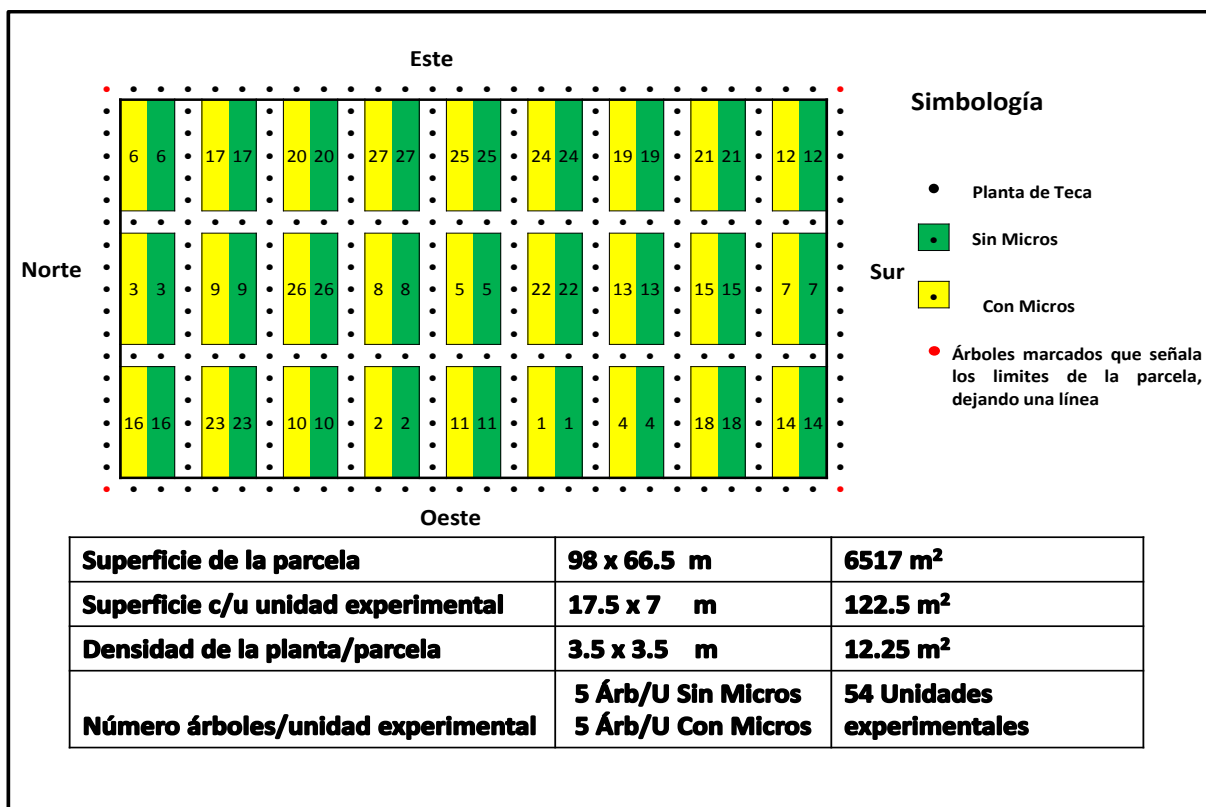


Figura 3. Diseño de la parcela y unidades experimentales de 5 árboles Sin Micros (Verde) Con Micros (amarillo).

3.8. Fertilización

El fertilizante se aplicó en forma manual, a una distancia de 20 cm del tallo, en dos orificios en el suelo, uno al norte y otro al sur, a una profundidad de 15 cm. El fertilizante se repartió en cantidades iguales en los dos orificios. La fertilización se llevó a cabo los días 22 y 23 de octubre de 2010 y la primera medición en mayo de 2011. Al año de establecido, se aplicó un cantidad equivalente a la primera fertilización para realizar nuevas mediciones en 2012. En las plantaciones de Teca es común reforzar la fertilización al año de establecida y para no alterar el experimento a todas las unidades se le aplicó una cantidad equivalente a la de la primera etapa.

3.9. Toma de datos de campo

Los datos de crecimiento se tomaron en dos edades; la primera del 01 al 02 de junio de 2011 y la segunda, del 18 al 19 de mayo de 2012. Las variables que se midieron en cada fecha fueron altura, diámetro a la base del árbol y supervivencia. La altura se midió con una baliza de PVC de 6 m graduada en cm. El diámetro se midió con vernier, con exactitud al mm, en la primera fecha y en la segunda con cinta diamétrica con exactitud en mm. Con el diámetro se estimó el área basal del tronco y con la altura y el diámetro se estimó el volumen del tronco, con la ecuación de un cono:

$$V = 0.333*(0.7854 \times (DAB)^2 \times H)/10$$

Dónde:

V = Volumen en decímetros cúbicos

DAB = Diámetro a la base del árbol, en cm

H = Altura total, en m.

3.10. Análisis estadísticos

La información de los datos de campo se organizó en cuadros de Excel, para calcular los valores promedios de altura, diámetro, volumen y supervivencia.

Para el análisis estadístico se realizaron Análisis de varianza con el paquete de software SAS, versión 9.0. Se utilizaron los módulos UNIVARIATE para comprobar la normalidad de los datos y ANOVA para el análisis de varianza. La comparación de medias fue con la prueba de Tukey ($p = 0.05$). Las variables sometidas al análisis estadístico fueron los parámetros del árbol, altura, diámetro, área basal a nivel del suelo y volumen; y sus incrementos correspondientes, que se calcularon con la diferencia de dimensiones entre 2011 y 2012. El análisis de varianza de 2011 no mostró diferencias significativas en los parámetros del árbol en los diferentes tratamientos, por lo que no se estimaron incrementos antes de 2011. El efecto de los micronutrientes se probó

con la prueba de F y con el método gráfico de Parcelas Gemelas propuesto por Stape *et al.*, (2006).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables dasométricas medidas en 2011

No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) atribuidas a los tratamientos en ninguna de las variables dasométricas medidas en 2011. Por lo tanto, tampoco se estimaron incrementos para ese año. Sin embargo, los resultados indican que el terreno donde se estableció el experimento posee variabilidad espacial, ya que los bloques mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$). Tampoco hubo diferencias significativas por la aplicación de Micros, lo que indica que entre el periodo de evaluación de 2009 a 2011 los árboles no mostraron efecto significativo de la fertilización; tampoco fue significativa la interacción Tratamiento x Micros (Cuadro 5).

Cuadro 5. Significancia (P) obtenida en el análisis de varianza para las mediciones de 2011.

F.V.	G.L	Altura	Diámetro	AB	Volumen
Bloques	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Tratamientos	26	0.7614	0.6418	0.5497	0.5100
Micros	1	0.5235	0.5258	0.6017	0.7011
Trat*M	26	0.9876	0.9597	0.9656	0.9797

Trat*M= Interacción Tratamiento x Micros; AB= Área Basal

4.2. Variables dasométricas medidas en 2012.

Para los datos promedios de 2012 se encontraron diferencias significativas atribuibles al tratamiento de fertilización en las variables diámetro y área basal, pero no para la variable altura. En el caso del volumen ($P < 0.0575$) la significancia de tratamientos está cerca del límite establecido como significativo para este estudio ($P < 0.05$) (Cuadro 6). Este resultado indica que la segunda aplicación de fertilizante (o la combinación de las dos fertilizaciones) tuvo efecto diferenciado en el crecimiento de los árboles. El

efecto de la interacción Tratamiento x Micro tampoco fue significativa en las variables medidas en 2012, lo que indica que los tratamientos se comportaron de manera similar con o sin la aplicación de micros. El método gráfico de Stape *et al.*, (2006) corrobora que el incremento en volumen en parcelas que recibieron micronutrientes no fue superior al de las parcelas que no los recibieron. Lo datos se distribuyen alrededor de la relación 1:1 corroborando este resultado (Figura 4).

Cuadro 6. Significancia (P) obtenida en el análisis de varianza para las mediciones de 2012 en un experimento de fertilización de Teca.

F.V.	G.L	Altura	Diámetro	AB	Volumen
Bloques	3	0.0001	0.0025	0.0013	0.0001
Tratamientos	26	0.2612	0.0100	0.0096	0.0575
Micros	1	0.6872	0.4096	0.5032	0.6377
Trat*M	26	0.9942	0.8607	0.9207	0.9740

Trat*M= Interacción Tratamiento x Micros; AB= Área Basal

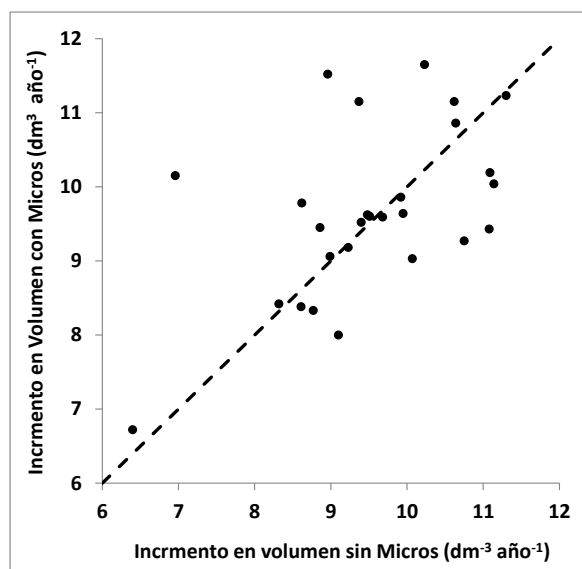


Figura 4. Relación de cambio en crecimiento entre parcelas con y sin Micros. No hay una clara tendencia de superar la línea punteada que indica una relación 1:1.

4.3. Incrementos 2011-2012

Los incrementos de 2011-2012 mostraron diferencias significativas atribuibles al tratamiento de fertilización para las variables diámetro, AB y volumen, pero no para la variable altura (Cuadro 7). Es probable que la altura no haya mostrado diferencias porque los árboles están espaciados regularmente y la competencia por luz entre copas no ha sido determinante. La variable volumen es importante porque refleja en forma combinada el efecto sobre área basal y altura, sin embargo, la aplicación de micros tampoco muestra una ventaja sobre los tratamientos que no los recibieron.

Cuadro 7. Significancia estadística (P) obtenida en el análisis de varianza para los incrementos en el periodo 2011-2012 en un experimento de fertilización de Teca.

F.V.	G.L	Altura	Diámetro	AB	Volumen
Bloques	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Tratamientos	26	0.3778	0.0007	0.0007	0.0151
Micros	1	0.6268	0.5357	0.5094	0.6358
Trat*M	26	0.5278	0.9436	0.9180	0.9642

Trat*M= Interacción Tratamiento x Micros; AB= Área Basal

4.3.1. Efecto de N

Los resultados indicaron un efecto simple del factor N con relación a la variable diámetro, pero no para el resto de las variables. De manera similar, el K mostró un efecto simple con relación a diámetro, y con respecto a volumen la significancia fue del 0.07 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Significancia estadística (P) obtenida en el análisis de varianza de los incrementos obtenidos entre 2011 y 2012 en la plantación de Teca.

Fuente de variación	Grados de libertad	Altura	Diámetro	Volumen
Bloques	3	0.0001	0.0001	0.0001
N	2	0.1360	0.0372	0.2125
P	2	0.9911	0.3300	0.4018
K	2	0.9495	0.0079	0.0739
N*P	4	0.1954	0.2562	0.6672
N*K	4	0.9233	0.3149	0.5890
P*K	4	0.1441	0.6093	0.6758
N*P*K	8	0.3026	0.2347	0.3069

La dosis de 45 g/árbol de N proporcionó el mayor aumento en diámetro, como se muestra en la Figura 5. Para efectos de visualización, intencionalmente, la Figura 5 no se grafica desde valores de cero y aunque las diferencias son ceras al 10%, la significancia es estadística. Por lo tanto los resultados indican que la dosis de N en plantaciones de Teca se puede incrementar con relación a las dosis aplicadas actualmente al momento de la plantación. Se infiere que el N aplicado a dosis mayores, favorece el aumento del crecimiento de los árboles de Teca. Esto coincide con Plaster (1985) quien menciona que con un buen suministro de N en las plantas de Teca alcanzan un crecimiento vigoroso, hojas anchas y tallos largos.

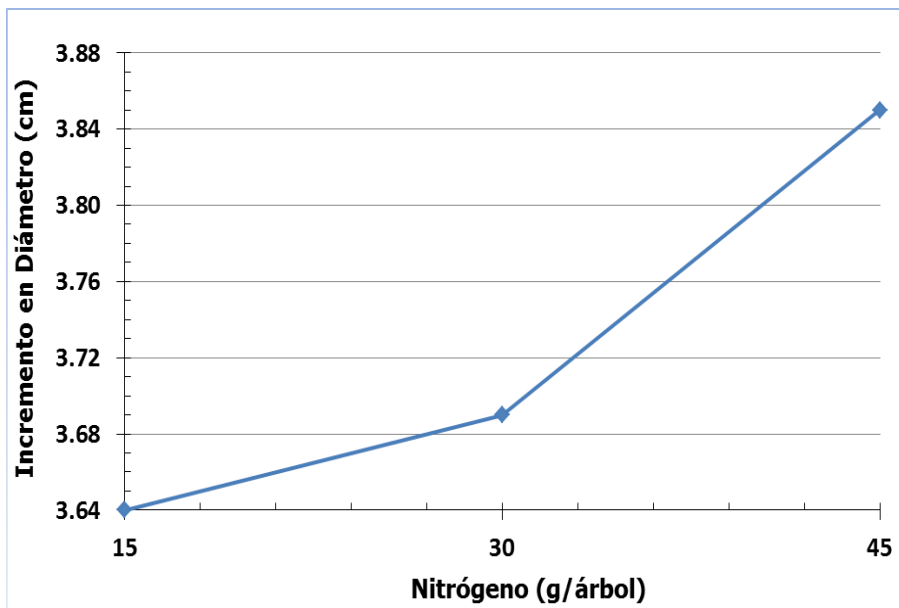


Figura 5. Efecto de dosis de N en el incremento en diámetro para la especie de Teca.

4.4.2. Efecto de P

Llama la atención que el P no haya tenido efecto sobre el crecimiento de teca. Especialmente porque de acuerdo a la valoración del suelo, se infirieron deficiencias. En la literatura normalmente se reportan respuestas de las especies forestales a la aplicación de P (Rodríguez, 1982; Binkley, 1993). Se infiere que el P aplicado no fue un factor limitante para el crecimiento del árbol, por lo cual no se llegó a detectar efecto significativo en ninguna de las variables. Sin embargo, el P tiene una función importante en la fotosíntesis y otros procesos fisiológicos de los árboles. Koslowski (1971) menciona que cuando se aplica el fósforo durante una estación de crecimiento aumenta el contenido de reservas en el árbol y estimula ampliamente el crecimiento durante el siguiente año. Es probable que la eficiencia en reabsorción de P sea alta en Teca y por esa razón existe poca correlación entre los índices de disponibilidad de P en el suelo y el crecimiento (Fisher y Binkley, 2000).

4.4.3. Efecto de K

De igual forma, el resultado de K es inesperado ya que además de no mostrar efecto positivo, muestra más bien un efecto negativo cuando se incrementa la dosis (Figura 6 y 7). Este resultado sugiere que no se debe modificar la dosis tradicional que hasta ahora se emplea. Es difícil explicar la razón del resultado de K, pero pudiera estar relacionado con un desbalance en la asimilación de otros cationes como el Ca. El suelo del experimento es vasto en Ca y Mg y la Teca es especialmente sensible a estos elementos (Mollinedo, 2003; Vaides, 2004). Por lo anterior, como explicación preliminar se plantea la competencia de K en la zona de intercambio del suelo. Sin embargo, Dada la inusual respuesta encontrada en este estudio se recomienda realizar más investigación al respecto.

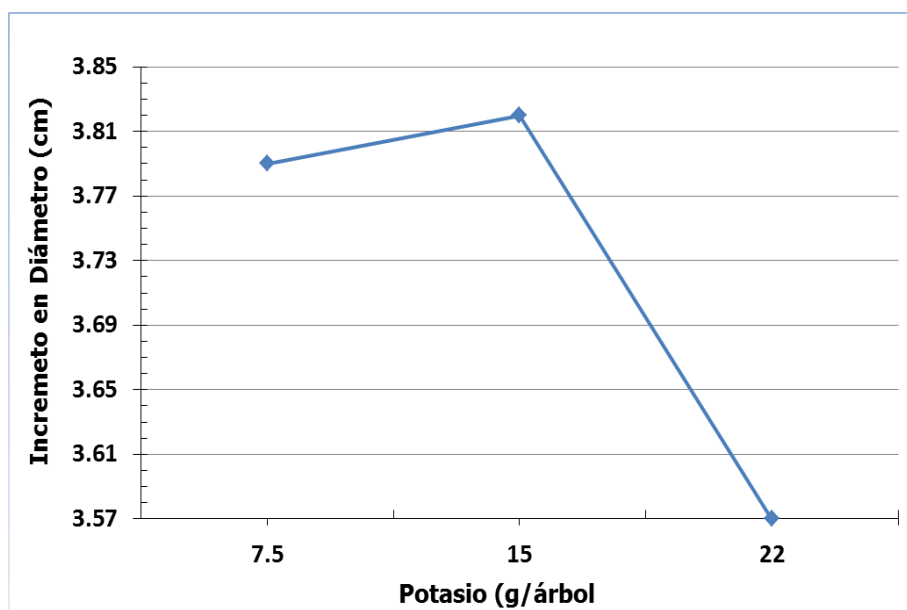


Figura 6. Efecto de dosis de Potasio en el incremento en diámetro de árboles de (Teca).

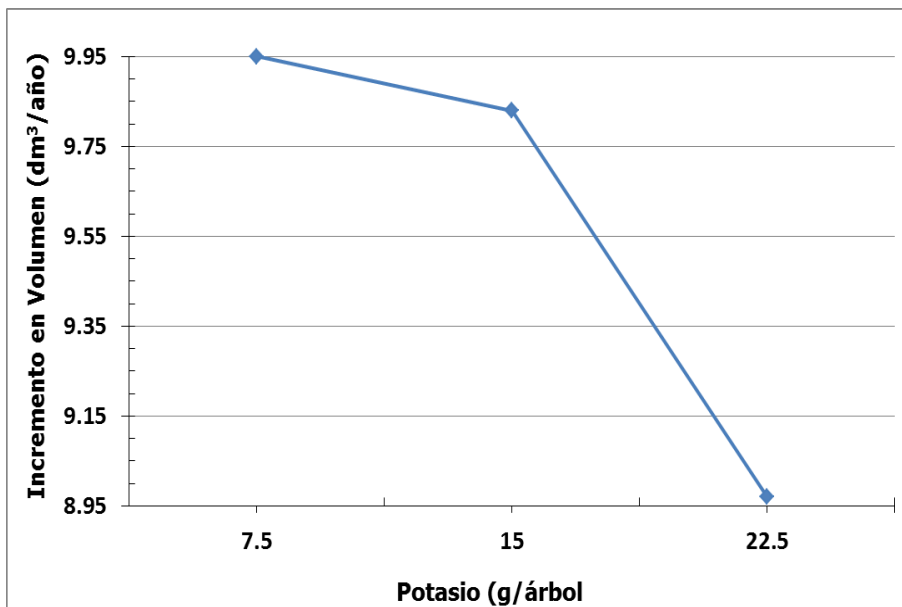


Figura 7. Efecto de la dosis de Potasio en el incremento en volumen del tronco en árboles de (Teca).

4.4.4. Tendencia de la combinación de tratamientos

Aunque las interacciones no fueron estadísticamente significativas, desde un punto de vista práctico se puede ver la tendencia de las combinaciones de tratamiento. De acuerdo a los resultados de esta investigación la combinación recomendable para plantaciones de Teca es la 45-30-7.5 g por árbol de NPK. Aunque la combinación 15-15-15, también muestra buen crecimiento, la variabilidad en la respuesta es más alta que la de la combinación 45-30-7.5. Lo anterior se deduce de la tendencia con respecto a la tendencia de incrementos en área basal (Figura 8) que fue similar para otros parámetros del árbol.

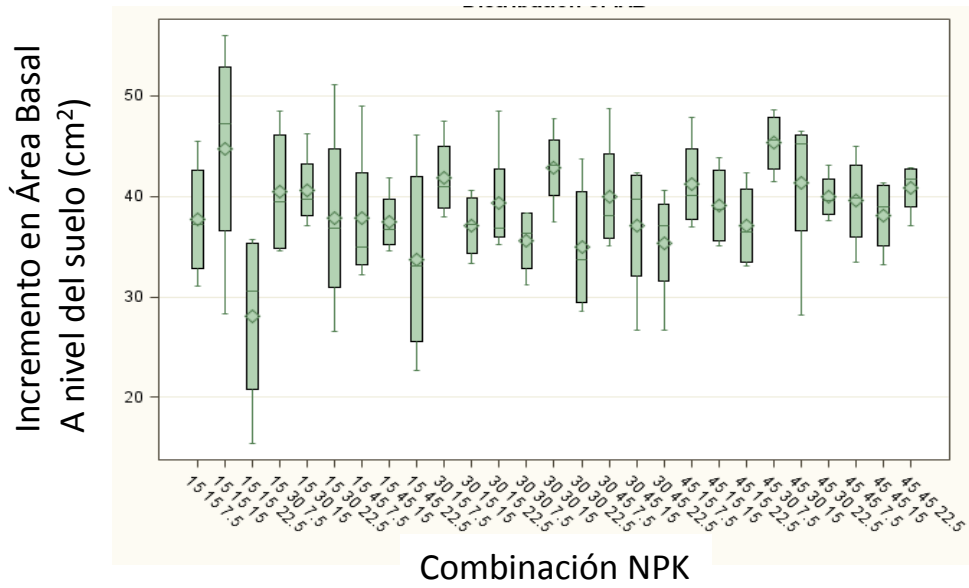


Figura 8. Tendencia del incremento en área basal a nivel del suelo en la plantación de Teca estudiada, de acuerdo a la combinación de tratamientos.

V. CONCLUSIONES

Se observaron diferencias significativas atribuibles al tratamiento de fertilización hasta el segundo año de iniciada la fertilización de Teca. Las variables que mostraron más respuesta fueron el diámetro y el área basal a nivel del suelo. La variable volumen fue significativa al 6%.

Hasta el segundo año de evaluación, no se mostraron diferencias significativas por la aplicación de Micro-nutrientes. Los resultados indican que la dosis de N se puede incrementar de 30 a 45 g por árbol, mientras que en el caso de K es recomendable mantener 15 g por árbol. Aunque el P no mostró efecto significativo en ningún nivel, se recomienda conservar la dosis tradicional de 30 g por árbol ya que es el nivel que hasta ahora ha funcionado y además los cambios pequeños P tienen impactos considerables en el crecimiento de los árboles. Por lo anterior, la dosis sugerida para el crecimiento inicial de Teca es 45-30-7.5 g por árbol de NPK. Ninguna de las interacciones fue significativa, indicando que no hubo efecto sinérgico por la aplicación de las diferentes combinaciones de tratamientos.

VI. LITERATURA CITADA

- Ali, A S. y S. M. Tahir. 2002. Fertilizer Requirements of Newly Planted Teak (*Tectona grandis* L. f.) Seedlings. *Pertanika J. Trap. Agric. Sci. Universiti Putra, Malaysia* 25(2):121-129.
- Alvarado, A. 2006. Informaciones Agronómicas. Nutrición y fertilización de la teca No. 61. Ed. INPOFOS. Quinton, Ecuador. 8 p.
- Beard, J.S. 1943. The importance of race in teak, *Tectona grandis*. *Caribbean Forester. U.S.A.* 4(3): 135-139.
- Betancourt B., A. 1987. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Ed. Científico-técnico. Habana, Cuba. pp: 342-345.
- Bidwell, R. G. S. 1990. Fisiología Vegetal. A. G. T. Editor. pp: 245-292.
- Binkley, D. 1993. Nutrición Forestal. Prácticas de manejo. Limusa. México. 340 p.
- Biscoe, C. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. Turrialba, CR. Diseminación del cultivo de árboles de uso múltiple. Proyecto 1. CATIE. Seria Técnica, Informe Técnico. No. 270. Área Silvicultura de bosques tropicales. 44 p.
- Castillo V., J. C., J. M. Jiménez C. y R. A. Díaz M. 1993. Germinación y crecimiento de tres especies forestales. Folleto de Investigación. Centro de Investigación Regional del Sureste. INIFAP-SARH. Escárcega, Campeche, México. 167 p.

- Chávez, E. y W. Fonseca. 1991. Teca árbol de uso múltiple en América Central. Ed. CATIE, Informe Técnico Núm. 179. Turrialba, Costa Rica. 47 p.
- Comisión Forestal Nacional CONAFOR. 2011^a. Superficie establecida plantaciones forestales comerciales. Informe de plantaciones comerciales. PRODEPLAN, México 142 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2011^b. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Informe de plantaciones comerciales. PRODEPLAN, México. 472 p.
- Departamento de Estudio de Territorial Nacional (DETENAL). 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica. Folleto explícito. Púb. FAO/UNESCO pp: 87-88.
- Evans, J. 2009. Planted Forests: Uses, Impacts and Sustainability. CAB International and FAO. London, UK. Roma, Italia. 213 p.
- Fischer R. F. and Binkley D. 2000. Ecology and Management of Forest Soils. 3 Edition. Wiley, New York. U.S.A. 489 p.
- Fonseca, W. 2000. La aplicación de fertilizantes químicos en (*Tectona grandis* Linn. F.) en Guanacaste, Costa Rica. *In*: Consejo Nacional de Rectores, Oficina de Planificación de la Educación Superior. Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica. pp: 39-44.
- Geissen, V., H. R. Sánchez, C. Kampichler, R. R. Ramos, L. A. Sepulveda, G. S. Ochoa, B. H. J. De Yong, L. E. Huerta and D. S. Hernández. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils — An example from Southeast Mexico (Balancán, Tabasco. ELSELVIER, Geodema, Tabasco, México. 151:87-97.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2006. Cuaderno Estadístico Municipal: Balancán, Tabasco, Estado de Tabasco, México. 139 p.
- Juárez G., V. M. 1981. Ensayo de procedencias de *Tectona grandis* Linn., en Escárcega, Campeche. Informe de Investigación, Escárcega, Campeche, México D.F. 15 p.
- Kaosa-ard, A. 1981. Teak (*Tectona grandis* L.f.) Its natural distribution and related factors. Natural History Bulletin of the Siam Society, 19: 55-74
- Kishore, N. 1987. Preliminary studies on the effect of phosphatic fertilizers on teak plantation. Indian Forester 113(6): 391–394
- Kozlowski, T.T. 1971. Growth and Development of Trees I. Seed Germination, Ontogeny and Shoot Growth. Academic Press. New York U.S.A. 443 p.
- Kukachka, B. F. 1970. Properties of Imported Tropical Woods. Forest. Products. Laboratory. Madison, Wisconsin, U.S.A. 125:66.
- Little, E. L.; Wadsworth, F. R., y J. Marrero. 1967. Árboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Ed. U.P.R. Puerto Rico. pp 239-241.
- Longwood, F. R. 1962. Present and Potencial Comercial Timbres of the Caribbean. Agriculture Handbook No. 207. Washington, U.S.A. 167 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition. Academic Press. London, England. 657 p.
- Max E. S., HART J.; STEVENS R.G. 1999. Soil Test Interpretation Guide. EC 1478. Oregon, State University, Washington, U.S.A. 8 p.

Mengel, K. and E. Kirkby. 2001. Principles of plant Nutrition. 5th Ed. Kluwer Academic Publisher. Netherlands. 849 p

Mollinedo, G. M. S. 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. 89 p.

Montero, M. 1995. Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en el limón de Chupanpa, Herrera, Panamá. *In*: Memoria del seminario Técnico sobre Fertilización Forestal. CATIE-INRENARE. Santiago, Veraguas, Panamá. Pp: 17-29.

Montero, M. M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinatum* (Jacq), Dugand, en Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad Austral, Valdivia, Chile. 111 p.

Nwoboshi L., C. 1984. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria. II. Nutrient accumulation and minimum annual requirements. *Forest Science* 30(1):35-40.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 2002. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2000-Informe principal. Estudio Monte FAO 140. Roma, Italia. Pp: 1-81.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2005. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 77 p.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2006. Bases Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelo No. 103. Roma, Italia. 130 p.
- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón R. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados- ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.
- Pandey. D. and C. Brown. 2000. La Teca: una visión global: Una visión general de los recursos mundiales de Teca y de los elementos que influyen en sus perspectivas de futuro. *Unasyuva* 201(51): 3-13.
- Plaster, E. J. 1985. Soil Science and Management. Publishers. New York, U.S.A. 55. P.
- Rodríguez S., F. 1982. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT Editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- Rodríguez D., A. y A. V. Paniagua. 2005. Encalado y fertilización de *Tectona grandis* (Teca) en la región Huetar Norte de Costa Rica. Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 65 p.
- Ross P. 1959. Teak in Trinidad. *Economic Botany*. Trinidad de Tobago. 13(1):30-40.
- Salazar F., R. y A. Waldemar. 1974. Requerimientos edáficos y climáticos para *Tectona grandis*. *CATIE*, Turrialba, Costa Rica 24(1):66-71.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Interamericana. México, D. F. 759 p.

- Singh, M. 1997. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium and soil working on the growth of teak plants. *In*: S.C. Basha, C. Mohanan and S. Sankar Ed. Proc. Internat. Teak Symposium. pp: 43–45.
- SIRE, 2005. SIRE-Paquetes Tecnológicos. *Tectona grandis*. CONABIO-SEMARNAP. Disponible:
<http://www.icraf.cgiar.org/treesd/AFT/Images/IMG00334.jpg>
[Consultada: 15 de Septiembre de 2012]
- Stape, J. L., D. Binkley, J. S. Walter, E. N. Takahashi. 2006. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in Eucalyptus plantations at landscape scales in Brazil. *Forest Ecology and Management*. Department of Forest Sciences, University of Sao Paulo, Brazil (223):358–362
- Streets, R. J. 1962. *Exotic trees of the British Commonwealth* Oxford, Uk: Clarendon Press. Pp. 712-725.
- Torres R. J. M. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional México. FAO, Roma, Italia. 96 p.
- Vaides, L. E. 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. Costa Rica. 81 p.
- Velázquez A., J. F. Mas, J. R. Díaz, M. R. Saucedo, C. P. Alcántara, R. T. Fernandez, T. G. Bocco, G. E. Ezcurra y L. J. Palacio. 2002 Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México, *Gaceta ecológica*, INE-SEMARNAT, México, 62:21-37.

Weaver, P. 1993. *Tectona grandis L.f.* Teak. Department of agriculture. New Orleans, U.S.A. 540 p.

Víctor de Oliveira, J. R. 2003. Sistema para el cálculo de equilibrio nutricional y la recomendación en calado y fertilización de rodales de teca. Tesis de Maestría, Universidad Federal Vicosa, Brasil. 89 p.

White, K. J. 1991. Teak: some aspects of research and development. RAPA publication: 1991/17. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific (RAPA). 53 p.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Datos promedios 2011 e incrementos 2011 al 2012

TRATAMIENTOS	PROMEDIOS 2011						INCREMENTOS 2011-2012						
	SIN MOCROS			CON MICROS			SIN MICROS			CON MICROS			
	ALT m	DIA cm	VOL dm	ALT m	DIA cm	VOL dm	ALT m	DIA cm	VOL dm ³	ALT m	DIA cm	VOL dm ³	
1	N- P- K-	4.34	4.34	2.39	4.43	4.47	2.69	1.90	3.69	8.99	1.95	3.71	9.06
2	N- P- K0	4.43	4.52	2.64	4.62	4.78	3.10	1.91	4.01	10.23	1.90	4.28	11.65
3	N- P- K+	4.02	3.94	2.00	4.34	4.35	2.35	1.98	3.06	6.40	1.53	3.07	6.72
4	N- P0 K-	4.56	4.69	2.83	4.89	5.03	3.52	1.81	3.59	8.96	1.98	3.94	11.52
5	N- P0 K0	4.60	4.60	2.75	4.75	4.85	3.13	2.00	3.64	9.37	1.92	4.05	11.15
6	N- P0 K+	4.78	4.82	3.02	4.35	4.20	2.24	1.89	3.67	10.07	2.00	3.73	9.03
7	N- P+ K-	4.78	4.83	3.08	4.46	4.24	2.48	1.77	3.50	9.48	2.05	3.75	9.62
8	N- P+ K0	4.72	4.66	2.97	4.71	4.77	2.98	1.65	3.63	9.23	1.68	3.59	9.18
9	N- P+ K+	4.32	4.36	2.37	4.41	4.54	2.84	2.02	3.47	8.61	1.73	3.31	8.38
10	N0 P- K-	4.78	4.85	3.23	4.79	4.75	3.13	1.96	3.95	11.09	1.87	3.88	10.19
11	N0 P- K0	4.72	4.56	2.82	4.28	4.31	2.29	1.61	3.77	9.10	1.81	3.64	8.00
12	N0 P- K+	4.28	4.61	2.54	4.62	4.74	2.85	2.05	3.85	9.68	1.76	3.71	9.59
13	N0 P0 K-	4.43	4.58	2.64	4.40	4.54	2.65	1.72	3.56	8.32	1.72	3.50	8.42
14	N0 P0 K0	4.56	4.67	2.96	4.84	5.10	3.49	1.87	3.91	10.64	1.70	3.95	10.86
15	N0 P0 K+	4.81	4.78	3.41	4.49	4.27	2.51	1.51	3.47	8.77	1.90	3.45	8.33
16	N0 P+ K-	4.84	4.86	3.22	4.68	4.85	2.97	1.96	3.94	11.08	1.86	3.53	9.43
17	N0 P+ K0	4.27	4.37	2.56	4.62	4.74	2.86	2.05	3.71	8.86	1.85	3.62	9.45
18	N0 P+ K+	4.03	3.93	2.00	4.50	4.66	2.78	1.80	3.04	6.96	2.02	3.85	10.15
19	N+ P- K-	4.80	4.87	3.27	4.55	4.66	2.83	2.06	3.93	11.14	2.03	3.82	10.04
20	N+ P- K0	4.53	4.72	2.94	4.85	4.99	3.44	2.08	3.70	9.95	1.56	3.69	9.64
21	N+ P- K+	4.68	4.78	3.04	4.50	4.64	2.72	1.94	3.62	9.40	2.11	3.63	9.52
22	N+ P0 K-	4.93	5.12	3.85	4.85	4.95	3.59	1.68	4.09	11.30	1.81	4.07	11.23
23	N+ P0 K0	4.70	4.50	2.78	4.66	4.65	2.73	1.99	3.97	10.62	2.21	4.09	11.15
24	N+ P0 K+	4.45	4.45	2.63	4.57	4.64	2.85	2.09	3.93	9.92	1.94	3.85	9.86
25	N+ P+ K-	4.29	4.47	2.47	4.46	4.45	2.47	2.10	3.86	9.51	1.89	3.93	9.60
26	N+ P+ K0	4.18	4.13	2.19	4.60	4.64	2.91	1.99	3.79	8.62	2.03	3.83	9.78
27	N+ P+ K+	4.94	4.95	3.33	4.69	4.67	2.98	1.66	3.92	10.75	1.80	3.73	9.27
	MÁX	4.94	5.12	3.85	4.89	5.10	3.59	2.10	4.09	11.30	2.21	4.28	11.65
	MÍN	4.02	3.93	2.00	4.28	4.20	2.24	1.51	3.04	6.40	1.53	3.07	6.72
	MEDIA	4.54	4.59	2.82	4.59	4.65	2.87	1.89	3.71	9.52	1.87	3.75	9.66