

Efecto de la fertilización de la Teca (*Tectona grandis* L. f.) con fosfato diamónico (18-46-0) y nitrato de amonio (34.4-0-0)

Maykol German Marín Rodríguez

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Efecto de la fertilización de la Teca (*Tectona grandis* L. f.) con fosfato diamónico (18-46-0) y nitrato de amonio (34.4-0-0)

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Maykol German Marín Rodríguez

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Efecto de la fertilización de la Teca (*Tectona grandis* L. f.) con fosfato diamónico (18-46-0) y nitrato de amonio (34.4-0-0)

Maykol German Marín Rodríguez

Resumen: En la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, se ha iniciado la plantación de 13 hectáreas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). A la plantación se le aplicará fertilizantes químicos para mejorar el crecimiento inicial de la Teca y para que este repercuta en el crecimiento en etapas posteriores. En este estudio se evaluaron niveles de fertilización para determinar el nivel óptimo para mejorar el crecimiento de las plantas. El estudio se realizó en el terreno “Burro bajo” de la Escuela Agrícola Panamericana. Se utilizaron los fertilizantes químicos nitrato de amonio y fosfato diamónico (DAP) puesto que suplen los nutrientes que se encontraron en bajos niveles en el suelo (nitrógeno y fósforo). Los niveles de fertilización fueron establecidos basados en las recomendaciones encontradas en la revisión de literatura y utilizando los resultados del análisis de suelo. Se midieron las variables dasométricas en las plantas referentes a la altura, el ancho de la hoja y el diámetro del tallo. Para el análisis de los datos se utilizó el software MS Excel y la extensión Real Statistics Resource Pack software © (versión 4.11) para analizar parámetros como la normalidad de los datos, Anova de dos vías y pruebas Tukey. El ancho de la hoja no mostró efectos por la fertilización. En cambio, se encontró un efecto positivo de la fertilización en la variable altura y algunos niveles mostraron que si hubo un incremento en la variable diámetro del cuello. Sin embargo, no se logró determinar un nivel óptimo para la fertilización inicial de la Teca.

Palabras clave: Crecimiento de la teca, fertilización inicial, nutrición de la teca.

Abstract: At the Panamerican Agricultural School, Zamorano, Honduras, it has begun planting 13 hectares of teak (*Tectona grandis* L. f.). Chemical fertilizers will be applied to the planting to improve the initial growth of teak and this will impact on growth in later stages. In this study fertilization levels were evaluated to determine the optimal level to improve plant growth. The study was conducted on the ground "Burro bajo", a Panamerican Agricultural School property. The chemical fertilizers used were ammonium nitrate and ammonium diphosphate (DAP) because they supply the nutrients in low levels in the soil (nitrogen and phosphorus). Fertilization levels were established based on the recommendations found in the literature review and using the results of soil analysis. The forest variables measured in plants were concerning to height, leaf width and stem diameter. For data analysis was used the software MS Excel and the extension Real Statistics Resource Pack software © (Release 4.11) to analyze parameters such as the normality of the data, the two-way ANOVA and Tukey tests. The width of the sheet showed no effect by fertilization. Instead, a positive effect caused by the fertilization level on the height variable was found and some levels of fertilization showed that there was an increase in the variable diameter of neck plant. However, it was not possible to determine an optimum level for initial fertilization of Teak.

Keywords: Initial fertilization, teak growing, teak nutrition.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4. CONCLUSIONES	15
5. RECOMENDACIONES	16
6. LITERATURA CITADA	17
7. ANEXOS.....	21

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Tratamientos aplicados a las parcelas.....	7
2. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$) para las variables altura, ancho de hoja y diámetro del cuello	11
3. Resultados de la prueba Andeva de dos vías ($\alpha= 0.05$) para la variable altura.	11
4. Comparación las medias de los niveles de fertilización sobre la variable altura	12
5. Resultados de la prueba Andeva de dos vías ($\alpha = 0.05$) para la variable ancho de la hoja.	13
6. Valores de las medias encontrados para la variable ancho de la hoja	13
7. Resultados de la prueba Andeva de dos vías ($\alpha=0.05$) para la variable diámetro del cuello	13
8. Comparación las medias de los niveles de fertilización sobre la variable diámetro del cuello	14
Figuras	Página
1. Ubicación del área de estudio	6
2. Curvas de índice de sitio para <i>Tectona grandis</i> en Guisa, Cuba	8
3. Arreglo de las parcelas y los niveles de fertilización del experimento.....	9
Anexos	Página
1. Resultados del análisis de suelo.....	21
2. Medición de las variables de crecimiento.....	21

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales han contraído importancia y pasado a ser una buena alternativa para la producción de madera de una manera ambientalmente responsable. Las plantaciones forestales son una herramienta crucial para hacer frente a la deforestación ocasionada por la extracción maderera, por supuesto aunado a esto debe estar la certificación forestal. El área de plantaciones forestales mundialmente es aproximadamente de 264 millones de ha, lo que representa el 7% de la cobertura forestal del planeta (3,454 millones de ha) (Jürgensen, Kollert y Lebedys, 2014)

La cobertura de la Teca (*Tectona grandis* L.f.), tiene gran importancia mundial. Entre las maderas tropicales de calidad, es la más cultivada en el mundo, sin embargo, la mayor cantidad de madera producida proviene de bosques (De Camino y Morales, 2013). El área de bosques naturales de Teca en India, Laos PDR, Myanmar y Tailandia (países con mayor cobertura forestal de esta especie) es aproximadamente 29 millones de hectáreas; y el área de plantaciones de esta especie de 4.4 millones de ha (1.67% del área de plantaciones forestales en el mundo) distribuidas en Asia (83%), África (11%) y el Trópico Americano (6%) (Kollert y Cherubini, 2012).

En cuanto a las maderas duras del trópico consideradas de alto valor, esta especie posee alrededor del 74% del área de plantaciones (De Camino y Morales, 2013). Como es de suponer, los países con mayor producción de madera de esta especie se encuentran en Asia. Estos países son: Myanmar, India, Indonesia, y Tailandia (Jayaraman y Bhat, 2011), El país con mayor exportación de madera en rollo de Teca es Myanmar con un promedio de 455,000 m³, lo que representa el 43% del comercio mundial de madera en rollo de Teca (Kollert y Walotek, 2015).

En el año 2014, la región de Latinoamérica y el Caribe alcanzó la producción de más de 182 millones de m³, 89% fue producido por Brasil (International Tropical Timber Organization [ITTO], 2015b). Se destaca Brasil como el tercer mayor productor de madera en rollo y el primero en producción de madera en rollo procedente de plantaciones (Kollert y Walotek, 2015). El área plantada con Teca en Brasil de aproximadamente 87,000 hectáreas (Indústria Brasileira de Árvores [IBÁ] 2015).

En Centroamérica el mayor productor de madera en rollo es Costa Rica con 1.4 millones de m³ en el año 2014, por su parte Honduras tuvo una producción total de madera en rollo de 766 000 m³ el mismo año (ITTO, 2015b). Las exportaciones de Teca en Centroamérica para el 2014 fueron de 15 000 m³ y estas tienen como mercado China, India y Taiwán (Kollert y Walotek, 2015). El área plantada con Teca en Honduras es aproximadamente

450 ha y las exportaciones de esta madera tienen un precio promedio de \$350.00 por metro cúbico (Kollert y Walotek, 2015).

La Teca proviene de Birmania (Actualmente parte de India, Laos y Myanmar), Tailandia e India (Fonseca, 2004). En Myanmar la Teca se desarrolla naturalmente de manera abundante en pendientes onduladas y montañas en bosques frondosos secos y húmedos (Pandey y Brown, 2002). En América se introdujo la especie en Trinidad y Tobago en 1913 y a América central fue introducida primeramente en Panamá en 1926 (Fonseca, 2004).

Nombre Científico: *Tectona grandis* L.f.
Nombre Común: Teca, Teck, Teak, Kyun, Sak.
Reino: Vegetal
Subreino: Embryobionta
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Sub-Clase: Asteridae
Orden: Labiales
Familia: Verbenácea.

La Teca se desarrolla óptimamente en temperaturas que van desde los 23 °C a 27 °C; requiere de una época seca bien marcada y una precipitación entre los 1,300 y 2,500 milímetros anuales (Fonseca, 2004) La precipitación mínima para producción de maderera es de 1,000 mm (Salazar, 1973). Los árboles pueden crecer entre 25 a 30 metros de altura, en algunos casos pueden alcanzar los 50 metros, y alrededor de 1.64 metros de diámetro alcanzando hasta 3.54 metros en climas favorables húmedos (Salazar, 1973). La Teca es madera fina y dura; con contenido de sílice y buena durabilidad (Chaves y Fonseca, 1991).

La Teca tiene mejor productividad en suelos con texturas de francos a franco arcillosos y que posean buen drenaje (Ladrach, 2009). El rango de pH óptimo del suelo debe ser entre 6.5 a 7.5 para la mejor productividad de la especie (Krishnapillay, 2002; Ladrach, 2009). Sin embargo, la especie se desarrolla bien en suelos con un pH mayor a 5.5 (Solares, 2014).

En cuanto a nutrición, es importante que hayan disponibles en el suelo de 150 a 160 ppm de fósforo (P) total, el nivel de zinc (Zn) no debe ser menor a 2 ppm, el nivel de manganeso (Mn) debe estar por encima de 15 ppm (Fonseca, 2004). La especie incrementa su demanda de calcio a partir de los 7 años (Alvarado, 2006), por lo que es recomendable que el calcio se mantenga en niveles no menores a 10 meq/100 ml de suelo (Ladrach, 2009). Las deficiencias de nitrógeno se pueden identificar por la presencia de clorosis y necrosis en hojas bajas y coloraciones oscuras de las hojas y las de fósforo por el poco desarrollo de la raíz (Arévalo-Valderrama y Gauggel, 2014).

El nitrógeno es el nutriente que representa la mayor limitante de la producción vegetal mundial, su función en la planta es la formación estructural síntesis de la clorofila, y crecimiento de las plantas (Universidad Autónoma de Madrid [UAM], 2007b). El nitrógeno es aprovechado por la planta en forma de nitrato (NO_3^-) o en forma de amonio (NH_4^+) (Uhart y Echeverría, 2002). El fósforo es fundamental en todos los procesos de que involucran la transferencia de energía, es impulsor de la fotosíntesis y favorece la

producción de nuevas células y transferencia genéticas (Brown y Hu, 1999). La absorción del fósforo es en forma de H_2PO_4^- cuando el pH del suelo es menor a 7 y en forma de HPO_4^{2-} cuando el pH es mayor (UAM, 2007a).

La temperatura, la humedad y la fertilidad son factores fundamentales que regulan el crecimiento de las especies forestales (Schenck, 2002). La adición de nutrientes a las plantas toma importancia cuando existen condiciones que reducen la disponibilidad de estos para las plantas. La escasez de suelos adecuados, la mejora de la genética de especies exigentes de óptimas condiciones nutricionales y la pérdida de nutrientes de los suelos exigen una restauración de la fertilidad para mantener la productividad (Schenck, 2002). La calidad del sitio y las actividades de manejo del bosque determinan de manera importante el crecimiento en volumen en extremos que van desde $4.54 \text{ m}^3/\text{año}$ hasta $25.38 \text{ m}^3/\text{año}$ (Vaides, Ugalde y Galloway, 2004).

La Teca presenta dominancia apical en las etapas previas a la floración, las hojas se presentan en configuración opuesta con un diámetro mayor de 11 a 85 cm y un diámetro menor de 6 a 50 cm y con peciolos de engrosados (Fonseca, 2004). La Teca posee un fuste recto con corteza de aproximadamente 1.2 mm, la raíz es pivotante, las flores presentan una coloración amarilla verdosa; el fruto es óseo de forma tetragonal con cuatro compartimentos que contienen de 1 a 2 semillas (ITTO, 2015a).

Los costos de producción de plantaciones de Teca son de alrededor de US\$ 1,211 durante el año cero y de US\$ 306 en el primer año siendo estas primeras etapas las más costosas de los 15 primeros años (Restrepo, Orrego, Del Valle, y Salazar, 2012). En cuanto a los turnos financieros de las plantaciones, se recomienda que para obtener madera de buena calidad y rentabilidad los turnos deben ser entre 25 y 40 años (Fonseca, 2004). Mientras que otros autores recomiendan que turnos con buena rentabilidad oscilan entre los 13 y 15 años tanto para un escenario con pasto o con arbustos de bajo porte (Restrepo et al., 2012).

La calidad del sitio típicamente es relacionada al índice de sitio que hace referencia a la potencialidad de un terreno para la producción de plantas (comúnmente bosque) en determinado tiempo a partir de la conjugación de variables del clima, biología, edafología y topografía del sitio (Fonseca, 2004). Para calcular el índice de sitio, la vía de estimación directa comúnmente usada a través de la altura dominante que se obtiene a partir de la media de las alturas de los 100 árboles con mayor altura en una hectárea; pero existen otras dos opciones: una toma como referencia las alturas de los árboles dominantes y la otra la otra la altura promedio de los 100 árboles de mayor diámetro (Fonseca, 2004).

El manejo silvícola de las plantaciones empieza incluso antes del establecimiento de las plantaciones. Luego de la selección del sitio para la plantación, se realiza la preparación del mismo mediante el desmote para evitar la competencia y favorecer el desarrollo de las plantas de interés (Gallo, Herrera, Joya, Garcia y Pinto, 2007); y el arado o subsuelo del suelo en la temporada seca si es meritorio (Fonseca, 2004). El establecimiento se hace típicamente con plántulas producidas sexualmente con semillas o asexualmente empleando injertos, esquejes y más recientemente clones (Fonseca, 2004). La utilización de esquejes facilita el transporte y disminuye pérdidas, sin embargo, se debe garantizar buena humedad

en suelo durante en las semanas próximas por lo que es mejor el uso de plantas en bolsas debido a su desarrollo radicular (Chavarria et al., 1997).

En la región del Petén, Guatemala se determinaron incrementos de 35.36 m³/ha/año de volumen a una edad de 10 años con el uso de clones (Solares, 2014); comparado con incrementos de 25.38 m³/ha/año en la mejor calidad de sitio estudiada e incrementos de 4.54 m³/ha/año correspondiente a sitios de la misma región (Vaides et al., 2004). Lo que indica una alta potencialidad para el uso de esta tecnología en plantaciones de esta especie. Para un buen desarrollo de las plántulas en etapas de vivero se debe fertilizar con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Escamilla, Obrador, Carrillo, y Palma, 2015; Fonseca, 2004).

El distanciamiento recomendado para plantaciones comerciales es de 3.5 × 3.5 m, obteniéndose una densidad de 816 plantas/ha (Chavarria et al., 1997). Sin embargo, es recomendable elegir el distanciamiento de acuerdo al fin de la plantación, es decir: si es para madera para aserrar, recomendablemente se debe establecer a 3 × 3 m (Fonseca, 2004); si se trata de sistemas agroforestales como el Taungya, el distanciamiento típicamente utilizado entre hileras es de 6 m y se plantan árboles a menor distancia dentro de las mismas (Ladrach, 2009); para sistemas silvopastoriles, en Costa Rica se establecen desde 2 × 2 m hasta 5.33 × 5.33 m de distanciamiento (Fonseca, 2004); mientras que para plantaciones comerciales las densidades rondan los 1,000 y 1,100 árboles por hectárea a distanciamientos de: 3 × 3 m, 3.5 × 2.8 m y 4 × 2.5 m (Ladrach, 2009).

Es importante practicar la resiembra recomendablemente luego de transcurrido un mes después del establecimiento para llenar los espacios de plantas muertas y cambiar plantas que tengan un mal desarrollo o hayan sido atacadas por plagas (Gallo et al., 2007). Además es recomendable hacer la resiembra cuando menos del 80% de las plantas sobreviven (Fonseca, 2004). Para controlar las malezas se recomienda hacerlo manualmente hasta los cinco meses de establecida la plantación, ya que posteriormente la planta ha alcanzado el desarrollo suficiente y se puede emplear el control químico (Gallo et al., 2007).

Es recomendable hacer realeos para eliminar individuos que presenten malformaciones y bifurcaciones y así propiciar el crecimiento de los demás individuos (Ladrach, 2009). Algunos autores recomiendan realizar los realeos al alcanzar las edades de siete años con una intensidad del 30% y doce años con una intensidad del 40% para obtener una densidad final de aproximadamente 470 árboles por hectárea (Gallo et al., 2007). Sin embargo, Ladrach (2009) afirma que un mejor indicador es la altura de las plantas y recomienda realizar el primer raleo cuando alcanzan seis metros de altura y el segundo raleo cuando los árboles alcanzan los doce metros obteniendo la densidad final que se requiera. Otros autores proponen ocho y dieciséis metros para el primer y segundo raleo respectivamente con una intensidad del 50% para ambos (Chavarria et al., 1997; Fonseca, 2004). En lo que los autores concuerdan es que lo óptimo es ejecutar solamente dos realeos para favorecer el incremento del valor de las trozas de los individuos restantes.

Para la producción de trozas limpias y de mejor calidad, se realizan podas de formación y de podas de calidad a las plantaciones con el objetivo de incrementar el valor final de la madera aserrada (De Camino y Morales, 2013). Es recomendable podar las ramas axiales una vez se haya alcanzado un DAP de 12 cm a una altura de 50 cm por encima del tamaño

de la troza deseada (Ladrach, 2009). Las podas se deben realizar a los árboles bien desarrollados dejando un tercio de la altura de la planta o como mínimo 50% de la copa y también es recomendable agregar una solución selladora para evitar daños por hongos e insectos (Gallo et al., 2007).

Honduras es un país cuyo territorio es mayormente de vocación forestal (87%), de igual manera la presión sobre el recurso es alta y el avance de la frontera agrícola es impulsada por escenarios de pobreza (Fundación de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2007). Para hacer frente a esta situación, en el país se ofrecen incentivos para el rubro forestal. Esto mediante la Ley de incentivos a la Forestación, Reforestación y a la Protección del Bosque (República de Honduras, 1994).

En la Escuela Agrícola Panamericana, se inició la plantación de 13 ha de Teca (*Tectona grandis* L. f.). Con el fin de mejorar el crecimiento de dichas plantaciones, se tiene planificado el uso de fertilizante químico. Sin embargo, no existen estudios publicados para Honduras sobre la fertilización inicial de plantaciones de Teca, por lo que la información sobre los niveles óptimos de fertilización para plantaciones en este contexto es escasa. Además, algunos estudios realizados en otras regiones indican la ausencia de un efecto en la fertilización inicial de plantaciones de Teca y la nula absorción de algunos nutrientes durante el primer año de edad (Fallas, 2014), lo que resultaría en un desperdicio de recursos. Con este estudio se generó información útil para la toma de decisiones para la fertilización de la totalidad de la plantación, lo que evita el desperdicio de recursos y también se propicia la expresión del potencial genético de las plantas que se traduce en una mejor productividad.

Escamilla et al. (2015) estudiaron el efecto de la fertilización con plantas en vivero de dos meses de edad de semilla certificada del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). En estas condiciones si se encontraron diferencias significativas al aplicar dos fertilizantes de liberación lenta, en cuanto a altura, diámetro y biomasa aérea más no en las raíces.

Según Fallas (2014), la aplicación de nitrógeno no provoca un efecto significativo en el incremento del diámetro de la planta ni de la altura. La aplicación de Nitrato de Amonio provoca un aumento en el diámetro durante el primer año de crecimiento, sin embargo, en el año siguiente este efecto tiende a desaparecer. Desde el tercer año en adelante si se denota un efecto positivo en el incremento del diámetro de las plantas (Balám, Gómez, Vargas, Aldrete y Obrador, 2015). En el caso del fósforo, la respuesta a la fertilización se presenta a partir del segundo año. El potasio ocasionó una mejor respuesta a partir de los 1.4 años.

En este estudio se buscó determinar el mejor nivel de fertilización para fertilizar plantación de Teca (*Tectona grandis* L. f.). Para esto se plantearon los siguientes objetivos:

- Identificar los efectos de los niveles de fertilización en las variables de crecimiento estudiadas.
- Determinar el nivel de fertilización con mayor efecto positivo en las variables de crecimiento estudiadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está ubicada en el terreno “Burro Bajo” propiedad de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras; y tiene un área plantada de Teca con 13 ha. El uso actual del terreno Burro Bajo es de plantaciones de *Bombacopsis quinatum* (Pochote), *Switenia humilis* (Caoba del pacifico) y *Tectona grandis* (Teca). Las parcelas de muestreo fueron ubicadas en la este del terreno con dirección norte sur en las coordenadas UTM 16 P 498314.46 m E y 1549398.72 m N (). El área de las parcelas fue de 4,704 m² y tiene una pendiente ligeramente ondulada 3%. Los linderos del área de estudio son: El Cerro El Burro al norte, Plantación de Pochote (*Bombacopsis quinatum*) y la quebrada El Gallo al sur, la carretera a San Antonio de Oriente al Este y la aldea El Jicarito al oeste. Este sitio presenta suelos con profundidades menores a 50 cm y con compactación evidente (resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm²) (Mora y Rodríguez, 2014).

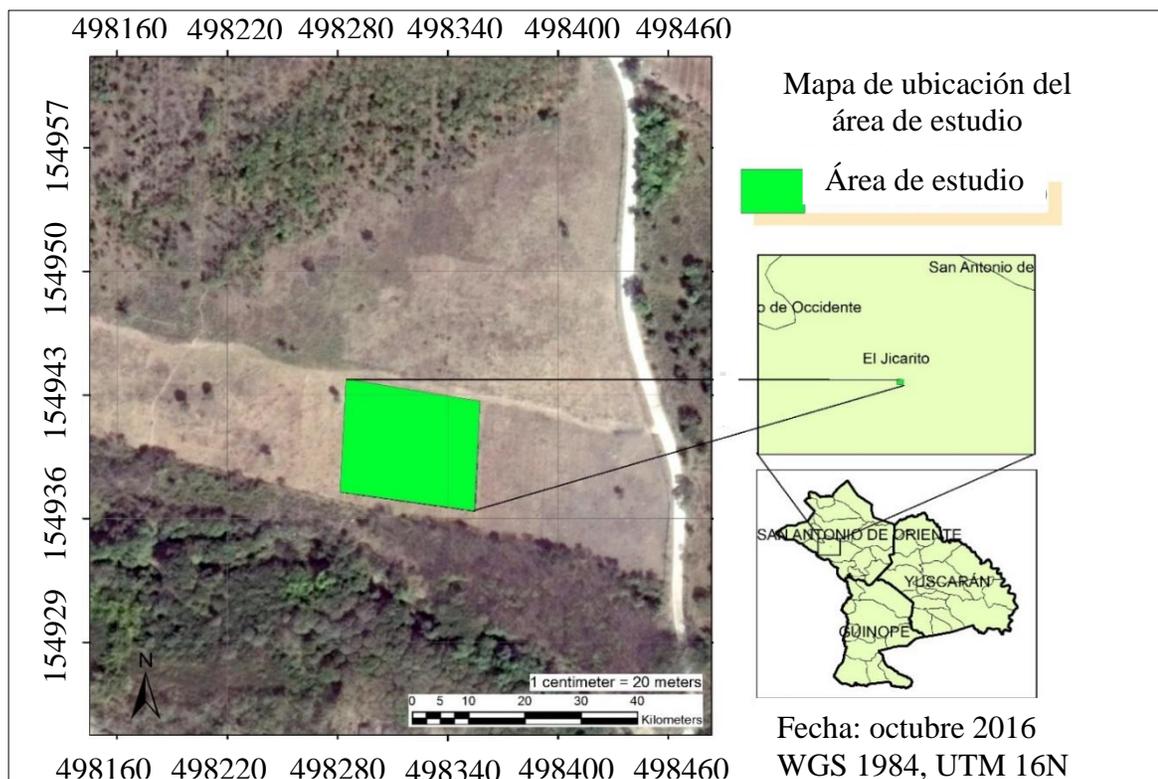


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El suelo del terreno es de textura Franco Arenosa con un pH de 5.9 y 3.44% de materia orgánica. Según el análisis químico de suelos, los nutrientes que se encuentran en bajo nivel son el nitrógeno con 0.17 g/100 g de suelo (rango medio: 0.20 a 0.50 g/100 g de suelo) y el fósforo con 10 g/kg (rango medio 13 a 30 g/kg de suelo). Los nutrientes: potasio, hierro y manganeso se encontraban en un rango alto y los nutrientes: calcio, magnesio, sodio, cobre y zinc se encontraban en rangos medios.

Para la medición de las variables altura y ancho de hoja, se utilizó una cinta métrica y para la medición del diámetro del cuello, se utilizó un pie de rey electrónico. Los fertilizantes utilizados para los niveles de fertilización aplicados, fueron una combinación de fosfato di amónico (DAP), cuya presentación comercial es la fórmula: 18-46-0 correspondiente a 18% de nitrógeno (NH_4) y 46% de fósforo molecular (P_2O_5); y nitrato de amonio (NO_3NH_4), cuya fórmula comercial es 34.4-0-0 con 34.4% de nitrógeno. Los niveles se establecieron variando en incrementos y reducciones en 25% de las dosis recomendadas. Se establecieron dos niveles por encima (+25% y +50%) y un nivel por debajo (-25%) de las dosis de nitrógeno y DAP recomendada por Alvarado (2006) y Balám et al. (2015) respectivamente.

La dosis recomendada para el DAP fue de 100 gramos por planta. Para el nitrato de amonio la dosis recomendada fue de 130.81 g por planta que es el equivalente en peso de nitrato de amonio obtenido del nivel de nitrógeno recomendado (45 g por planta) y el porcentaje de la composición de nitrógeno del producto (34.4%). Además, se evaluó un nivel de fertilización tomando en cuenta las deficiencias nutricionales del suelo y los requerimientos de la planta mediante un análisis de suelo de la plantación (**Error! Not a valid bookmark self-reference.**).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados a las parcelas.

Niveles de fertilización	ID	Dosis $\text{NO}_3 \text{NH}_4$ (g NO_3NH_4 /planta)	Dosis DAP (g DAP/planta)
Según Análisis de suelo	N1	743.43	544.80
Recomendación Nitrato de amonio y DAP	N2	130.81	100.00
Según recomendación +25% NO_3NH_4 +25% de DAP	N3	163.52	125.00
Según recomendación +50% NO_3NH_4 +50% de DAP	N4	196.22	150.00
Según recomendación -25% NO_3NH_4 - 25% de DAP	N5	98.11	75.00
Testigo sin fertilización	N6	0.00	0.00
	TOTAL	1332.09	994.80

El índice de sitio no se estimó de manera directa ni es comparable con otros estudios previos. Esto debido a que los índices de sitio para la Teca solamente se han calculado a partir de los cinco años de edad. Sin embargo una posible comparación puede hacerse frente al estudio de Garcia, Fidalgo, Fria, y Aldana, (s/f) quienes propusieron curvas de índice de sitio para plantaciones de Teca en Guisa, Cuba (Figura 2).

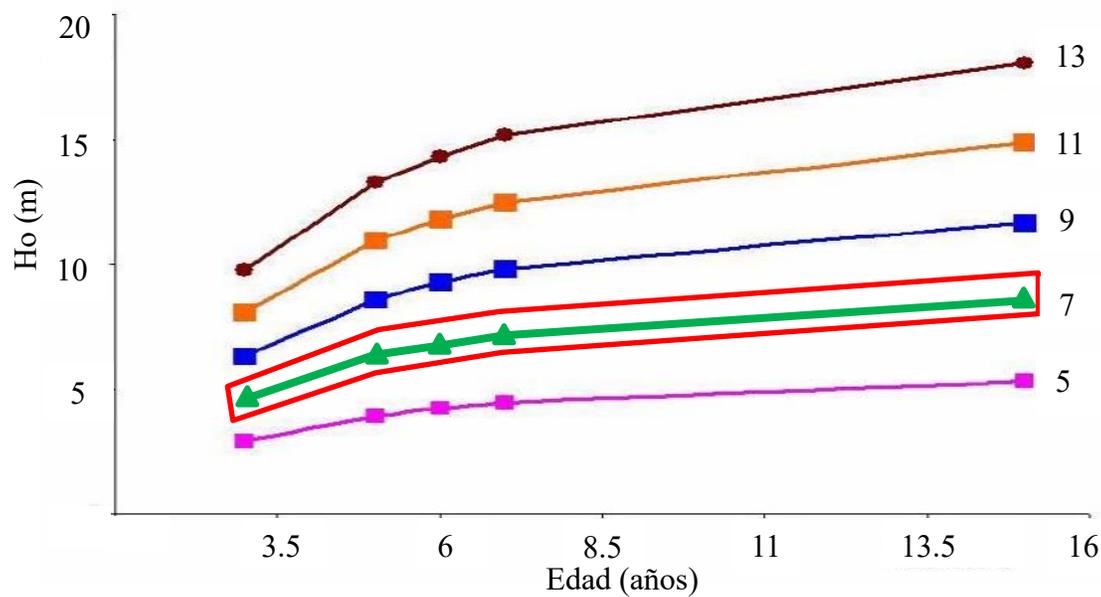


Figura 2. Curvas de índice de sitio para *Tectona grandis* en Guisa, Cuba.
Fuente: Garcia et al. (s/f), adaptado por el autor.

Para cada curva los autores, desarrollaron ecuaciones para cada curva de índice de sitio. De estas se eligió la que produjera el resultado más parecido a la altura dominante de las plantas en el sitio de estudio. De las ecuaciones desarrolladas, la que produjo el resultado más parecido a la altura dominante en las parcelas fue correspondiente al índice de sitio de 7 m (0.90 m) [1].

$$\ln h_o = 2.29 + (-2.303 / \text{Edad}) \quad [1]$$

Para el estudio se estableció un diseño experimental de bloques al azar. Se realizaron cuatro repeticiones por cada nivel aplicado resultando en cuatro bloques, cada uno con los seis niveles de fertilización. Estos fueron ordenados aleatoriamente (Figura 3) y totalizaron 24 parcelas. En el caso del tratamiento correspondiente al nivel de fertilización: N4 (204.55 g de Nitrato de amonio y 150.00 g de DAP) del bloque de repetición número tres; este se tuvo que trasladar a otra hilera al lado del bloque de repetición uno (R1). Sin embargo, a esta hilera le se aplicó el nivel de fertilización correspondiente a N4 como originalmente se había planificado. Este reemplazo fue necesario porque las plantas en la hilera original se secaron como resultado de la baja precipitación durante los meses posteriores al

Para dicho análisis las muestras de suelo se tomaron sistemáticamente en cuatro puntos de muestreo del área del experimento para consolidar una sola muestra de dos kilogramos.

Los datos se tomaron semanalmente durante ocho semanas desde el día lunes 6 de abril de 2016. De estos, se extrajeron los incrementos en las dimensiones medidas a las variables. Estos se obtuvieron mediante la diferencia de las medidas tomadas entre la primera toma de datos y la última (al final de las ocho semanas).

Análisis estadístico: Para analizar los datos, se utilizó una prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$) para evaluar la normalidad de los datos, posteriormente se realizó un análisis de varianzas de dos vías con la extensión Real Statistics Resource Pack software © en su versión 4.11 (Zaiants, 2015) compatible con el software MS Excel 2016 ® y posteriormente se realizó un test Tukey HSD post hoc ($\alpha=0.05$) entre cada tratamiento para determinar diferencias significativas entre ellos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la prueba Shapiro-Wilk, se encontró que las tres variables siguen una distribución normal ($\alpha=0.05$) (**Error! Not a valid bookmark self-reference.**), por lo que es válido utilizar un análisis paramétrico de análisis de varianza (Andeva) de dos vías. Esta prueba se aplicó para conocer la significancia de las diferencias entre tratamiento y también evaluar si existía diferencia entre bloques de repeticiones.

Cuadro 2. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$) para las variables altura, ancho de hoja y diámetro del cuello.

Variable	Niveles de fertilización					
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Valor “p” altura	0.11509	0.05763	0.92142	0.96958	0.27431	0.88210
Valor “p” ancho de hoja	0.61545	0.68163	0.31509	0.95454	0.71921	0.85755
Valor “p” diámetro del cuello	0.09354	0.66447	0.98412	0.12235	0.89417	0.71108
Normal	si	si	si	si	si	si

Como resultados para la variable altura, se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los niveles de fertilización aplicados (Cuadro 3). Por otro lado, no se encontró una diferencia significativa entre los mismos con la prueba de Andeva de dos vías. Estas pruebas no indican las diferencias que existen entre los tratamientos, por lo que fue necesario utilizar la prueba post hoc de Tukey. Con este test se determinó que el tratamiento testigo (N6) fue significativamente diferente a todos los demás niveles de fertilización (Cuadro 4). Esto indica que para la variable altura, se produjo una respuesta positiva en el crecimiento como efecto de la fertilización. Esto concuerda con los efectos de la fertilización nitrogenada encontrado por los autores Alvarado (2006) y Balám et al. (2015).

Cuadro 3. Resultados de la prueba Andeva de dos vías ($\alpha=0.05$) para la variable altura.

Parámetro	SS	gl	MS	F	Valor “p”
Bloques	484.7307	3	161.5769	3.033867	0.061957
Niveles	1397.002	5	279.4005	5.246195	0.005543
Error	798.8661	15	53.25774		
Total	2680.599	23	116.5478		

El mayor valor de media encontrada fue la del nivel de fertilización (N3) con un incremento en la altura de 30.73 cm. En este nivel de fertilización se aplicaron 170.45 g de nitrato de amonio y 125.00 g de fosfato di amónico. Esto es el incremento en 25% de las dosis recomendadas en los estudios realizados por Alvarado (2006) y Balám et al. (2015), sin embargo estadísticamente este valor de media no es diferente a de los valores de los niveles N1, N2, N4 ni N5, por lo que no se puede considerar como el mejor tratamiento. Para los contrastes entre los demás tratamientos a excepción del tratamiento control (N6), no se encontraron diferencias significativas entre los mismos.

Cuadro 4. Comparación las medias de los niveles de fertilización sobre la variable altura.

Nivel de fertilización	Media (cm)	Nivel a comparar	Valor “p”
N1	17.78	N2	0.4034
		N3	0.1808
		N4	0.6477
		N5	0.7905
		N6	0.0162*
N2	23.23	N3	0.4552
		N4	0.2306
		N5	0.4153
		N6	0.0163*
N3	30.73	N4	0.1190
		N5	0.1809
		N6	0.0204*
N4	15.91	N5	0.2481
		N6	0.0079*
N5	17.93	N6	0.0004*
N6	5.46		

* Denota diferencias significativas entre los niveles comparados

Para el caso de la variable ancho de la hoja, el análisis Andeva de dos vías indicó que no existían diferencias significativas entre los niveles de fertilización (**Error! Not a valid bookmark self-reference.**). Es posible que el criterio de selección de la hoja a medir haya influido en estos resultados. Esto debido a que la cuarta hoja presenta un buen nivel de desarrollo y por consiguiente un crecimiento relativamente bajo.

Cuadro 5. Resultados de la prueba Andeva de dos vías ($\alpha=0.05$) para la variable ancho de la hoja.

Parámetro	SS	gl	MS	F	Valor “p”
Bloques	0.288019	3	0.096006	0.481935	0.699749
Niveles	2.562195	5	0.512439	2.572356	0.071462
Error	2.988150	15	0.199210		
Total	5.838364	23	0.253842		

La media del crecimiento más alta fue correspondiente a nivel de fertilización uno (N1). Mientras que la media más baja encontrada fue la correspondiente al tratamiento de control sin fertilización, el nivel (N6). Sin embargo, al no encontrarse diferencias significativas, no se puede afirmar que un tratamiento haya sido mejor que el otro.

Cuadro 6. Valores de las medias encontrados para la variable ancho de la hoja.

Nivel de fertilización	Incremento del ancho de la hoja (mm)
N1	1.19
N2	0.39
N3	0.50
N4	0.56
N5	0.40
N6	0.13

El análisis de Andeva de dos vías efectuado a la variable diámetro del cuello indicó que existían diferencias entre las medias de algunos tratamientos (Cuadro 7). Con los resultados de la prueba Tukey que se realizó comparando los niveles de fertilización entre sí, se determinó que hay diferencias significativas entre el tratamiento de control: nivel seis (N6) y los niveles: dos (N2), tres (N3), y cinco (N5). Estas diferencias indican que la aplicación de estos niveles de fertilización si tuvieron un efecto en el crecimiento de cuello de la planta. Sin embargo, con el la prueba Tukey (Cuadro 8) no se encontraron diferencias entre ellos, por lo que no es posible indicar que alguno de ellos produjo un mayor efecto que el otro sobre el crecimiento.

Cuadro 7 . Resultados de la prueba Andeva de dos vías ($\alpha=0.05$) para la variable diámetro del cuello.

Parámetro	SS	gl	MS	F	Valor “p”
Bloques	11.80017	3	3.933390	1.803142	0.189828
Niveles	53.30078	5	10.66016	4.886822	0.007495
Error	32.72113	15	2.181409		
Total	97.82208	23	4.253134		

Es posible que estos niveles (N2, N3 y N5) hayan tenido efecto sobre el crecimiento del diámetro del cuello debido a que corresponden a cantidades de fertilizante aplicado relativamente no tan alejados. Es decir, el nivel tres (N3) corresponde al nivel de fertilización de nitrógeno y fosfato di amónico recomendado por los autores Alvarado (2006) y Balám et al. (2015) respectivamente, el nivel dos (N2) se determinó mediante el incremento en 25% del nivel tres (N3) y el nivel cinco (N5) corresponde a la disminución en 25% del nivel tres (N3). Probablemente aumentando el porcentaje de incremento entre niveles se obtengan diferencias entre las medias de dichos niveles de fertilización. Tal fue el caso del nivel cuatro (N4) y los niveles dos (N2) y cinco (N5) que corresponde a un incremento del 50% del nivel dos (N2) y de 100% si se compara con la cantidad de fertilizante aplicada en el nivel cinco (N5).

Cuadro 8. Comparación las medias de los niveles de fertilización sobre la variable diámetro del cuello.

Nivel de fertilización	Media (mm)	Nivel a comparar	Valor “p”
N1	5.81	N2	0.227
		N3	0.218
		N4	0.152
		N5	0.530
		N6	0.093
N2	6.72	N3	0.565
		N4	0.018*
		N5	0.349
		N6	0.011*
N3	7.73	N4	0.056
		N5	0.302
		N6	0.042*
N4	3.84	N5	0.025*
		N6	0.721
N5	5.95	N6	0.013*
N6	3.53		

* Denota diferencias significativas entre los niveles comparados.

4. CONCLUSIONES

- La fertilización tiene un efecto positivo en las variables altura y diámetro del tallo de la planta; sin embargo, los efectos de cada uno de los niveles evaluados para la variable altura (exceptuando el testigo) no son estadísticamente diferentes entre sí por lo que no hay evidencia suficiente para elegir un nivel óptimo de fertilización con base en el crecimiento.
- Los niveles de fertilización que provocaron un efecto positivo en el incremento del diámetro fueron el correspondiente a la dosis recomendada de 45 g por planta de nitrógeno (equivalente a 130.81 g de N) y 100 g de fosfato di amónico, el nivel de incremento en 25% del nivel recomendado (163.52 g de NO_3NH_4 y 125.00 g de fosfato di amónico) y el nivel de disminución en 25% del nivel recomendado (98.11 g de nitrato de amonio y 75 g de fosfato di amónico); sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre dichos niveles, por lo que no es posible determinar cual provocó un mejor efecto.
- El crecimiento de las hojas de la Teca no parece ser una buena variable para indicar los efectos de la fertilización, ya que el incremento del tamaño fue relativamente poco y esto no permitió encontrar diferencias entre ningún nivel de fertilización.

5. RECOMENDACIONES

- Debido a que no se encontraron diferencias significativas entre los efectos provocados por los niveles de fertilización aplicados, pero si se encontró un efecto positivo de dichos tratamientos sobre el crecimiento en términos de altura, se recomienda aplicar la fertilización a la plantación para mejorar desarrollo de las plantas en sus etapas iniciales, puesto que esto se verá reflejado en un mejor desarrollo de la plantación en etapas posteriores.
- Si bien es cierto, no se logró encontrar el nivel óptimo de fertilización, se podría hacer una recomendación teniendo en cuenta que no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos que causaron un efecto positivo en las variables altura y diámetro del cuello. Esta recomendación es basada en el uso del nivel de menor cantidad de fertilizante (N5: 98.11 g de nitrato de amonio y 75 g de fosfato di amónico) evitando así utilizar un nivel mayor que no provocará un mayor efecto en el crecimiento de la planta

6. LITERATURA CITADA

- Alvarado, A. (2006). Nutrición y fertilización de la Teca. *Informaciones Agronómicas*, 8. Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/\\$FILE/Nutrición y Fertilización de la Teca.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/$FILE/Nutrición%20y%20Fertilización%20de%20la%20Teca.pdf)
- Arévalo - Valderrama, G. y Gauggel, C. (2014). Manual de prácticas: curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal Tercer Año. En G. Arévalo, y C. Gauggel, *Manual de Prácticas: curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal Tercer Año* (pág. 43). LITOCOM. Tegucigalpa.
- Balám, M., Gómez, A., Vargas, J., Aldrete, A. y Obrador, J. (2015). Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* Linn F.) En el sureste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61038806011>
- Brown, P. y Hu, H. (1999). Funciones del fósforo en las plantas. *Informaciones Agronómicas*, 83(36), 9–10. Recuperado a partir de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/\\$file/Funciones+d el+Fósforo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/$file/Funciones+d el+Fósforo.pdf)
- Chavarria, M., Navarro, C., Valverde, J., Ramírez, F., Méndez, D. y Monge, J. (1997). *Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto Madeleña en Costa Rica*. (L. Ugalde, Ed.). Turrialba: CATIE. Recuperado de <https://books.google.com/books?id=lezwkGLH4HgC&pgis=1>
- Chaves, E. y Fonseca, W. (1991). Teca *Tectona grandis* L. f. El árbol de uso múltiple en América Central. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/REPDOCA4025E/A4025E.PDF>
- De Camino, R. y Morales, J. P. (2013). *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*. Recuperado de <http://www.ibiologia.unam.mx/gela/tecalibro.pdf>
- Escamilla, N., Obrador, J. J., Carrillo, E. y Palma, D. J. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 329–333. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61040691012>
- Fallas, J. (2014). Respuesta a la fertilización de la teca (*Tectona grandis* L.f) CON NPK en ultisoles de la zona norte de Costa Rica.

- Fonseca, W. (2004). Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica. *Heredia, Costa Rica*. Recuperado de http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/ManualProductoresTeca.pdf
- Gallo, M., Herrera, A., Joya, W., Garcia, C. A. y Pinto, L. A. (2007). Establecimiento de 400 hectareas de teca (*Tectona grandis*) en la finca las golondrinas del municipio de betulia, santander y obtener madera de calidad para muebles finos, 69. Recuperado de https://www.academia.edu/5194194/establecimiento_de_400_hectareas_de_teca_tectona_grandis_en_la_finca_las_golondrinas_del_municipio_de_betulia_santander_y_obtener_madera_de_calidad_para_muebles_finos
- Garcia, I., Fidalgo, D., Fria, M. y Aldana, E. (s/f). Índice de sitio y tablas de crecimiento para plantaciones jóvenes de *Tectona grandis* L. en la Unidad silvícola Guisa. Granma, (270). Recuperado de <http://www.buscagro.com/biblioteca/PinardelRio/TectonaGrandis.pdf>
- Indústria Brasileira de Árvores. (2015). Anuario Estadístico: Indústria brasileira de Árvores. *Anuario estatístico da IBA: ano base 2014. 2015*, 100. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- International Tropical Timber Organization. (2015a). Teca, Teak (*Tectona grandis*), (408). Recuperado de <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/teca-tectona-grandis/#lower-content>
- International Tropical Timber Organization. (2015b). The Annual Review statistical database | The International Tropical Timber Organization (ITTO). Recuperado el 4 de octubre de 2016, de http://www.itto.int/es/annual_review_output/
- Jayaraman, K. y Bhat, K. V. (2011). Innovations in the Management of Planted Teak Forests. *Teaknet*. Recuperado de <http://www.teaknet.org/files/Training%20Programme%20Proceedings.pdf>
- Jürgensen, C., Kollert, W. y Lebedys, A. (2014). Assessment of industrial roundwood production from planted forests. *FAO Planted Forests and Trees Working Paper*, *FP/48/E(48)*, 40. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>
- Kollert, W. y Cherubini, L. (2012). Teca - Mundo mercado, 3(January), 16–17. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>
- Kollert, W. y Walotek, P. (2015). Global teak trade in the aftermath of Myanmar's log export ban. *Planted Forests and Trees Working Paper*, *49(49)*, 20. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>
- Krishnapillay, B. (2002). Silviculture and management of teak plantations. *Unasylva*, *51(201)*, 14–21. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/x4565s/x4565s04.htm>

- Ladrach, W. (2009). Manejo de plantaciones de la teca para productos sólidos. *Sociedad Internacional de Forestales Tropicales*, 1–27. Recuperado de http://www.istf-bethesda.org/specialreports/teca_teak/teca.pdf
- Mora, A. y Rodríguez, M. (2014). Calidad de suelos en dos zonas de vocación forestal y recomendaciones de manejo en la E.A.P. Zamorano, Honduras, 63. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3314/1/IAD-2014-T016.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2007). Honduras: proyecto FNPP Centroamérica | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 4 de octubre de 2016, de <http://www.fao.org/forestry/40921/es/>
- Pandey, D. y Brown, C. (2002). La teca: Una visión Global. Recuperado el 6 de octubre de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/x4565s/x4565s03.htm>
- República de Honduras. DECRETO 163-93 Ley de Incentivos a la Forestacion , Reforestacion y a la Proteccion del Bosque, Decreto No. 163-93 12–17 (1994). Tegucigalpa, Honduras. Recuperado de <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/176/10.%20LEY%20de%20incentivos%20a%20la%20forestacion%20refor.%20y%20a%20la%20protec.pdf?sequence=1>
- Restrepo, H., Orrego, S., Del Valle, J. y Salazar, J. (2012). Turnos para teca y Pino. *Interciencia*, 37, 14–29. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33922709003>
- Salazar, R. (1973). Zonificación Ecológica de *Pinus caribea* var. hondurensis Barr. y Golf. y *Tectona grandis* Linn. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/11554/4350>
- Schenck, C. A. (2002). Necesidad de fertilizantes en la producción maderera. Recuperado el 4 de octubre de 2016, a partir de <http://www.fao.org/docrep/44279s/44279s09.htm>
- Solares, A. E. (2014). Evaluación del crecimiento y desarrollo de plantas de teca (*Tectona grandis* L.f.) producidas mediante semilla y clones, en finca la colorada, sayaxché, petén. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015, 1*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Universidad Autónoma de Madrid. (2007a). Fósforo | Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado el 4 de octubre de 2016, de [https://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/fundamentos/nutricion mineral/macro/fosforo.htm](https://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/fundamentos/nutricion%20mineral/macro/fosforo.htm)
- Universidad Autónoma de Madrid. (2007b). Nitrógeno | Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado el 4 de octubre de 2016, de [https://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/fundamentos/nutricion mineral/macro/nitrogeno.htm](https://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/fundamentos/nutricion%20mineral/macro/nitrogeno.htm)

Uhart, S. y Echeverría, H. (2002). El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción de maíz. *DOW*, 47. Recuperado de http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratures/dh_0032/0901b8038003272b.pdf

Vaides, E., Ugalde, L. y Galloway, G. (2004). Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala, (46), 137–145. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3294E/A3294E.PDF>

Zaionts, C. (2015). *Real Statistics Using Excel*. Obtenido de Performing Real Statistics Analysis Using Excel: <http://www.real-statistics.com/>

7. ANEXOS

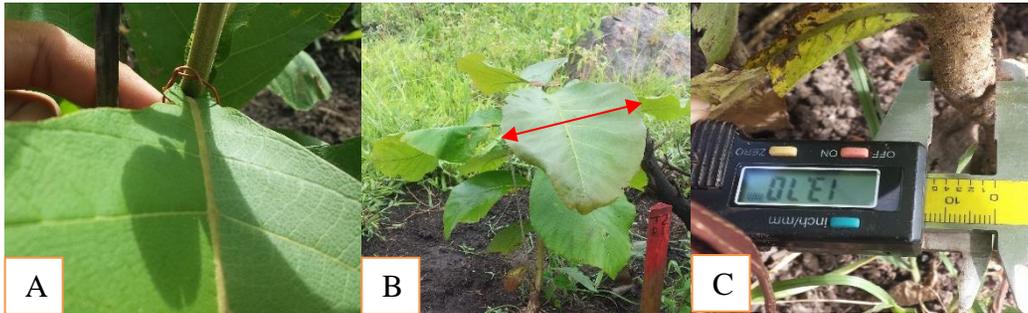
Anexo 1. Resultados del análisis de suelo

Solicitante		Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envío Informe	Procedencia de la muestra	Página
Maykol Marín		2016-05-13	2016-06-08	Burro bajo, plantación teca	1 de 1
Dirección del cliente		N° Lote de Análisis	Cultivo	Informe N°	Anexo Recomendación
EAPZ		2016-10	Teca	2016-169,1	Sí: x No:

Código Interno Lab.	Muestra	Textura	g/100g			pH (H ₂ O)	mg/Kg (extractable)										
			Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N total	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
16-S-1384	Tesis	Franco Arenoso	66	14	20	5,9	3,44	0,17	10	345	1112	168	11	2,5	158	114	3,3
Rango Medio						2,00 4,00	0,20 0,50	13 30	Por: Saturación de bases			1,7 3,4	56,0 112	28 112	1,7 3,4		

Métodos: K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn: Solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría. % M.O. : Metodo de Walkley & Black. % N total: 5% de M.O. pH: Relación suelo : agua; 1:1 AOAC 994,16. Textura: Metodo de Bouyoucos.																
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Anexo 2. Medición de las variables de crecimiento.



A: Marcaje de la hoja seleccionada. B: Sección de la hoja medida (marcada en roja). C: Medición del diámetro del tallo (cuello) de la planta.