



Caracterización del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y estimación de curvas de índice de sitio en el área septentrional de la República de Guatemala

Growth and productivity characterization of young teak (*Tectona grandis* Linn f.) plantations and estimation of site index curves in the septentrional area of the Republic of Guatemala

Manuel Sabino Mollinedo García*, Miguel Ángel Herrera Machuca² y Fernando Muñoz Sáez³

1 Estudiante Doctorado. Universidad de Córdoba, España. Carrera Ingeniería Forestal, Campus La Verapaz. Alta Verapaz, Guatemala.

2 Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Forestal. Córdoba, España. mherrera@uco.es

3 Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción, Chile. fmunoz@udec.cl

* Autor de correspondencia.
north.consultants@gmail.com

RESUMEN

Para el 2015 en Guatemala las plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) alcanzan aproximadamente 33 000 hectáreas, de las cuales 80% se ubican en la región septentrional. Para caracterizar estas plantaciones, su evolución en términos de crecimiento y desarrollo, se analizaron datos de un total de 248 parcelas permanentes de monitoreo establecidas entre 1998 y 2001 con mediciones efectuadas cada año entre el 2004 y 2009; encontrándose que en promedio 13,01% de los sitios presentan crecimientos altos, 70,66% crecimientos medios y 16,33% crecimientos bajos. Para sitios medios a altos, es decir en 83,67%, el índice de sitio a una edad base de diez años que alcanzará, será entre 19,13 m y 25,32 m, incremento medio anual de la altura total (IMAHTOT) entre 1,98 m año⁻¹ y 2,62 m año⁻¹, incremento medio anual del DAP (IMADAP) entre 2,23 cm año⁻¹ y 2,82 cm año⁻¹ y una productividad (IMAVol) desde 9,89 m³ año⁻¹ hasta 17,22 m³ año⁻¹. Entretanto, los sitios que presentan crecimientos bajos, alcanzarán un índice de sitio de 12,94 m, un IMAHTOT de 1,34 m año⁻¹, IMADAP de 1,65 cm año⁻¹ y una productividad máxima de 2,55 m³ año⁻¹. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas con p-valor ≤ 0,001 en índice de sitio, IMAHTOT, IMADAP, IMAAB e IMAVol. Las curvas de índice de sitio basadas en un modelo de crecimiento modificado permitieron identificar y definir una clasificación de los terrenos en función de su capacidad productiva en sitio y así evidenciar el crecimiento y desarrollo de la teca en Guatemala.

PALABRAS CLAVE: crecimiento, desarrollo, índice de sitio, productividad, teca.

ABSTRACT

In 2015 the teak (*Tectona grandis* Linn f.) plantations of Guatemala covered approximately 33 000 hectares, of which 80% are located in the septentrional northern region and, in order to characterize the evolution in terms of growth and development, data from a total of 248 permanent monitoring plots (in plantations established between 1998 and 2001 with measurements each year between 2004 and 2009) have been analyzed. The results show that, on average, 13,01% of the sites present high growth, 70,66% medium growth and 16,33% low growth. For the sites of medium to high growth, i.e., 83,67 %, the Site Index at a base age of 10 years that will be achieved will be between 19,13 m and 25,32 m, a mean annual increase in total height (MAIHTOT) of between 1,98 m yr⁻¹ and 2,62 m yr⁻¹, a mean annual increase in DBH (MAIDBH) of between 2,23 cm yr⁻¹ and 2,82 cm yr⁻¹ and productivity (MAIVOL) of 9,89 m³ yr⁻¹ to 17,22 m³ yr⁻¹. The sites that present low growth rates will reach a site index of 12,94 m, a MAIHTOT of 1,34 m yr⁻¹, a MAIDBH of 1,65 cm yr⁻¹ and a maximum productivity of 2,55 m³ yr⁻¹. The analysis of variance showed significant differences with a p-value ≤ 0,001 in site index, MAIHTOT, MAIDBH, MAIBA and MAIVOL. The site index curves based on a modified growth model allowed the identification and definition of a land classification based on its productive capacity on site, and thus evidences the growth and development of teak in Guatemala.

KEYWORDS: growth, development, Site Index, productivity, teak.

INTRODUCCIÓN

A inicios del primer decenio del presente siglo XXI, Pandey y Brown (2000) concluyeron que, derivado de la disminución del suministro sostenible de teca procedente de bosques naturales y del incremento constante de la demanda (desde 1990 ha alcanzado 1795 millones de metros cúbicos anualmente), aumentaría la producción y utilización de teca procedente de plantaciones, que según estos mismos autores alcanzaba las 100 000 ha al año desde 1995. Esto sugería la necesidad de adquirir un mayor conocimiento sobre temas como: la selección adecuada de sitios y material genético para el establecimiento de las plantaciones, así como sobre la silvicultura, manejo, utilización y aspectos ecológicos tanto de las plantaciones como de las masas naturales, para garantizar las inversiones y retornos financieros.

A juzgar por la reciente publicación de la evaluación mundial de los recursos y mercado de teca (Kollert y Cherubini, 2012, De Camino y Morales, 2013), elaborada por la oficina de Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas conocida por sus siglas en inglés, FAO; es relevante el cultivo de teca a través de plantaciones forestales —debido tanto a la disminución de las áreas naturales como al aumento en la demanda y oferta—, aunque deja claro que las plantaciones de teca constituyen un recurso emergente al que le falta aún mucho camino por recorrer para llegar a ser un recurso importante desde un punto de vista social y privado (De Camino y Morales, 2013). De acuerdo con Kollert y Walotek (2015) entre 2005-2014 se comercializó poco más de 1 millón de metros cúbicos de madera rolliza con un valor exportable que alcanzó US\$487 millones, lo cual representa 3% del valor total mundial de ventas. Según Fonseca (2004), la madera de teca tiene un aceite natural antiséptico que la hace muy resistente y la protege contra ataque de insectos y hongos, en comparación con otras maderas, es fácil de trabajar, no presenta problemas de secado y reúne buenas características para trabajos de carpintería. Relacionado a las propiedades físicas y mecánicas, Fonseca (2004) cita a diferentes autores sobre los primeros resultados obtenidos a nivel de Centroamérica, aduciendo que todavía hace falta profundizar y aclarar las controver-

sias, tales como la calidad de la madera según la altura y el grosor del árbol, alrededor de este tema.

Durante los primeros quince años de este siglo se han desarrollado cuatro conferencias mundiales en los años 2003, 2009, 2010 y 2015, liderados por el Kerala Forest Institute de la India y con apoyo de la FAO destinado exclusivamente al tratamiento de esta especie, lo que ha generado como lo señala Keogh (2006), un nuevo enfoque que visualiza más allá de un simple cultivo, una opción de gran interés futuro.

En diferentes publicaciones se hablaba por vez primera, de la existencia de una crisis en torno a maderas tropicales, lo que permitió comprender mejor su mercado dentro de las maderas de alta calidad; tal como lo señala Keogh (2009) citado por De Camino y Morales (2013) “ahora se entiende mejor el mercado dentro de la maderas de alta calidad”. De Camino y Morales (2013) comparten la idea de que se establecen restricciones al ir disminuyendo o acabándose los recursos, pues se combinan áreas certificadas y deforestación, y es esta poca sostenibilidad de la oferta la que ha generado una crisis en las maderas duras tropicales, la cual puede ser resuelta con el abastecimiento de madera desde bosques naturales manejados como plantaciones forestales en forma complementaria. De hecho, Kollert y Walotek (2015) identifican que el futuro del cultivo de teca está en el establecimiento de plantaciones, derivado de la prohibición de suministrar madera desde bosques naturales a partir del 1 de abril de 2014 en Myanmar, uno de los principales productores. De acuerdo con cifras de Kollert y Walotek (2015), de 2005 a 2014 los tres principales países productores (China, India y Tailandia) han doblado su importación en términos de volumen de madera rolliza desde 557 000 hasta 1,2 millones de metros cúbicos. Para el caso de Centroamérica, De Camino, Alfaro y Sage (2002) indican que existían aproximadamente unas 225 000 ha de plantaciones forestales, de las cuales 41 000 ha correspondían a teca (equivalente a 18,1% del total plantado), señalando también que el uso de teca en plantaciones se incrementó a inicios de la década de los 90, principalmente en Costa Rica (57,5%), en Panamá (32,2%), en El Salvador (6,1%) y en Guatemala con 4,2%.



Sobre los hallazgos en la evaluación de Kollert y Cherubini (2012) mencionados por De Camino y Morales (2013), se puede mencionar que, aunque globalmente y en términos de volumen la teca es una especie cuya comercialización ocupa una pequeña porción en el negocio del mercado forestal (se estima que mueve alrededor de 2% del volumen mundial de madera), en términos de valor comercial su importancia es mucho mayor, debido a que es una especie que ha atraído un segmento importante de inversionistas, mostrando a dicha especie como promisoría para incrementar su presencia en términos de área plantada. De acuerdo con la Kollert y Cherubini (2012) la teca plantada se distribuía en 32 países alcanzando 4346 millones de ha, de las cuales 83% se ubicaban en Asia, 11% en África y 6% en América tropical. Los resultados que mostraron Kollert y Cherubini (2012) y Kollert y Walotek (2015) incluyen entre otros: área y distribución por edades, desempeño en términos de crecimiento, cosecha mundial, mercado mundial y futuros mercados, precios y calidades.

Para el caso de Guatemala, país donde se desarrolló la presente investigación, desde que se aprobó en 1996 la actual Ley Forestal y se implementó el Programa de Incentivos Forestales -PINFOR-; la actividad forestal en general y particularmente, las plantaciones forestales no han sido una prioridad para el desarrollo socioeconómico del país, tal como lo señala Cabrera (2003) en una evaluación realizada siete años después de su puesta en marcha. Esto se debe a características intrínsecas de las plantaciones forestales que dificultan su desarrollo, tales como determinar el ecosistema donde se establecerán en función de la composición florística y el origen de las especies y finalmente el destino de la producción, y por otro lado, los inconvenientes financieros, así como las condiciones socioeconómicas y políticas públicas adversas, cultura forestal y visión de corto plazo, entre otros. Aquí es importante mencionar lo que ISTF NOTICIAS (2009) —la red de Sociedad Internacional de Forestales Tropicales— concluye acerca de que en los primeros ensayos de plantación en África y América Central, se descubrió que las fuentes de semilla originaria de Myanmar producían árboles con

mejor forma y crecimiento que las fuentes de India. En ese mismo contexto, Cabrera (2003) sostiene que se tiene una visión de muy corto plazo y que en ese entonces se desconocían muchos aspectos técnicos alrededor de un proyecto forestal, sin menospreciar los beneficios sociales y ambientales que son generados por las plantaciones forestales.

Es importante resaltar algunos aspectos del negocio forestal: tal y como lo mencionan Zamora y Barrera (2010) en los resultados de su diagnóstico para el Sector Forestal de Guatemala, cuando se opta por el uso del bosque para la producción de materia prima, se debe hacer de manera sustentable, considerando además que todo inversionista desea realizar un proyecto financieramente rentable. Los aspectos económicos, legales, capital humano, cuidados silviculturales, medio ambientales, entre otros, se deben considerar en cualquier proyecto forestal y todos ellos están asociados.

En síntesis, se debe entender que una adecuada planificación y consideración de cada uno de los aspectos mencionados, debe conllevar a un mayor éxito social, económico, productivo y financiero, porque de lo contrario fomentará la pérdida de credibilidad y desincentiva la inversión. Cabe señalar que la base primordial del éxito de la inversión en plantaciones forestales está dada por la calidad de sitio utilizado. A este respecto, y para determinar el crecimiento de una especie en un sitio, Vásquez y Ugalde (1995) y Vallejos y Ugalde (1998) proporcionan la metodología para determinar cuándo un sitio es de crecimiento “alto”, “medio” o “bajo”, basado en el índice de sitio (IS) y la altura dominante (AltDom).

De acuerdo con estadísticas aún no oficiales del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), al 2015 se tienen contabilizadas poco más de 33 000 ha de plantaciones de teca, de las cuales 80% se ubican en el área de estudio. Las primeras aproximaciones para caracterizar el crecimiento y desarrollo de dicha especie a nivel de la República de Guatemala, la realizaron Ávila (2003) y Vaidés (2004), cuyos principales hallazgos indican la presencia en sitios en los que la teca puede alcanzar crecimientos buenos y hasta excelentes, así como medios, pero se han

encontrado sitios donde la especie crece por debajo de su promedio. Específicamente interesa la condición de la clase de crecimiento bajo; en Costa Rica, Montero (1999) documentó que estos eran equivalentes a 13% de la superficie plantada y para el caso de Panamá, Mollinedo (2003) evidenció que dicho porcentaje alcanzaba 29%. Para Guatemala, Ávila (2003) encontró que 20% de los sitios tenían un crecimiento bajo, mientras que Vaides (2004) indicó que tales sitios alcanzaban 38%.

OBJETIVO

Determinar crecimiento y productividad de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* Linn *f.*) y desarrollar las primeras curvas de índice de sitio en el área septentrional de la República de Guatemala.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio corresponde a las regiones forestales II y VIII, de acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB) (Fig. 1) y corresponde a la llamada “Área septentrional” de la República de Guatemala. Las regiones comprenden los departamentos de Alta y Baja Verapaz (región II) y El Petén (Región VIII). La figura 1 muestra la ubicación de cada región forestal en relación con el resto de la República de Guatemala y los países vecinos: México —al norte y Oeste—, El Salvador y Honduras —al Este— y Belice —al Noreste—; asimismo rodeada por los océanos, Pacífico —al Sur— y Atlántico —al Noreste—.

De acuerdo con la información de los mapas contenidos en URL (2006), el área septentrional objeto de estudio se caracteriza por tener una topografía variada desde planicies de inundación y terrazas aluviales (mayoritariamente la región forestal VIII de El Petén) con altitudes desde 100 m snm hasta los 600 m snm, y desde los 200 m snm hasta los 1400 m snm correspondiente a la región forestal II comprendida por los departamentos de Alta, Baja Verapaz y El Ixcán. Las coordenadas entre la que está comprendida son: $x = 811123$, $y = 1971799$ y $x = 762284$, $y = 1645907$.

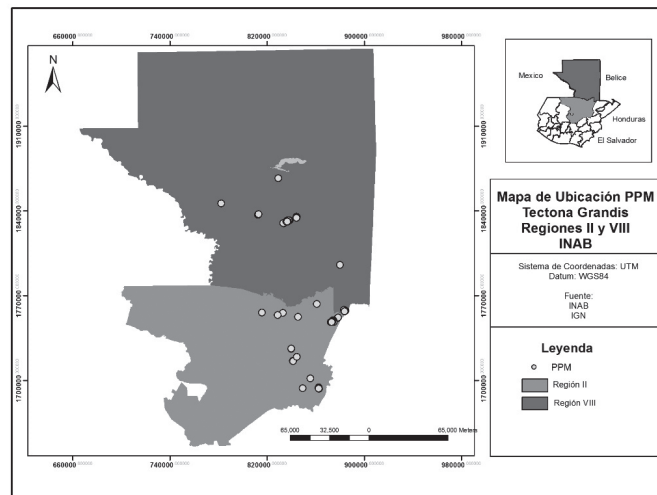


FIGURA 1. Mapa de ubicación de las regiones forestales II y VIII del área septentrional de la República de Guatemala, en Centro América.

Utilizando la primera aproximación de un primer mapa de suelos según la taxonomía del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) elaborado por Tuy (2006), se identificaron las clases taxonómicas existentes en Guatemala, siendo lo más representativas y en orden de importancia en el cultivo de la teca para el área de estudio las clases alfisoles, andisoles, inceptisoles y vertisoles. Con respecto al clima, y de acuerdo con el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, IARNA (2006), las zonas de vida predominantes son: bosque húmedo, subtropical cálido bh-S(c), Bosque muy húmedo, subtropical cálido bmh-S(c), con precipitaciones anuales totales promedio entre 1,800 mm y 2,500 mm y una temperatura anual promedio de entre 25 °C y 27 °C.

Fuente de información

Los datos para el estudio provienen de una red de 248 parcelas permanentes de monitoreo (PPM), establecidas en las plantaciones de teca, según la prescripción para la especie, por el INAB de acuerdo con la metodología establecida en el programa conocido como Manejo de Información Arbórea y Silvícola (MIRASILV), desarrollado



por Ugalde (2002) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica. Dicho programa utiliza ecuaciones generadas por Vásquez y Ugalde (1995) para el cálculo del Índice de Sitio (IS) a una edad base de 10 años, así como ecuaciones para el cálculo de las variables silvícolas indirectas y volúmenes generados en Costa Rica. Las plantaciones de teca fueron establecidas a un distanciamiento inicial de 3,00 m por 3,00 m, de acuerdo con el Plan de Manejo que se deriva del reglamento que define los lineamientos y especificaciones técnicas del INAB. Con relación a la distribución, todas las plantaciones de teca fueron establecidas de manera reticular, con separaciones de 3 m.

Una PPM es una parcela permanente de monitoreo de 1000 m² y mayoritariamente de forma rectangular, aunque dadas las características topográficas de los sitios puede ser también circular. En la PPM se puede recolectar información silvícola a partir de los valores de variables directas (altura total en m (HTOT) y diámetro a la altura del pecho (Dap) en centímetros, para luego ingresarlas al programa Mira-Silv 2.9, desarrollada por Ugalde (2002), programa que luego realiza los cálculos de volúmenes en base a ecuaciones desarrolladas en Costa Rica para teca, que en conjunto genera la información silvícola de las variables indirectas: área basal (m² ha⁻¹), incrementos medios anuales en altura total (m año⁻¹), altura dominante (m) y volumen total (m³ ha⁻¹), entre otras variables importantes. Luego, la información es exportada al formato .xls de Excel para su posterior análisis estadístico utilizando el programa Infostat versión 12 (mediante el cual se realizó el análisis de varianza, prueba de hipótesis, comparación de medias y prueba de Tukey) y uso en la generación de cuadros y gráficas. Esta información la controla el Departamento de Monitoreo de Plantaciones del INAB, quien a su vez facilitó los archivos en formatos .zip del Mira-Silv 2.9 para su uso en este trabajo de investigación.

La base de datos exportada a Excel contiene los valores de variables principalmente silvícolas directas e indirectas, provenientes de plantaciones establecidas en los años 1998, 1999, 2000 y 2001, con mediciones anuales en 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009.

Para construir la clasificación por crecimiento de los sitios, se utilizó la metodología de Vásquez y Ugalde (1995), desarrollada para teca en Costa Rica, la cual, desde un punto de vista práctico estratifica en “clases de sitio” definiendo a la clase alta, como aquellas plantaciones con crecimientos superiores al promedio y con un mayor potencial económico; a la clase media, como aquellas plantaciones alrededor del promedio con sitios considerados como buenos, que con un manejo adecuado tienen buenas posibilidades de ser rentables; mientras que los sitios considerados como bajos, son aquellas plantaciones con sitios por debajo del promedio, considerados sitios marginales y que son difícilmente rentables como para facilitar que desde un nivel técnico o extensionista puedan generarse, manejarse e interpretarse. Por último, en su mayoría, los resultados se presentan enfocados a dos grandes grupos divididos en segmentos de tiempo: hasta 72 meses (6 años) y a partir de 72 meses (6 años), esto derivado de análisis previo que indica abrupta diferencia en su densidad (arb ha⁻¹), mientras que otra parte mediante un análisis grupal de los datos de todas las PPM incluidas.

RESULTADOS

Efecto de distribución y espaciamiento (densidad)

De acuerdo con los datos analizados en campo, la diferencia con relación al distanciamiento teórico no supera $\pm 2,00\%$ que equivale a $\pm 0,10$ m entre árboles.

Al considerar el tema de la densidad (arb/ha⁻¹), es interesante apreciar cómo a lo largo del tiempo (años), se dieron cambios de densidad (Fig. 2) debido a raleos practicados cerca de los 72 meses (6 años), con reducción en la densidad en 53%, reduciendo desde un promedio de 1111 a 550 árboles por hectárea. Lo interesante es apreciar el abrupto descenso de la densidad en el tiempo indicado y que representa una de las consideraciones más importantes de una prescripción silvicultural, como es el raleo. Los puntos en la dispersión representan sitios con diferentes densidades y consecuentemente clases de crecimiento, tal y como Vásquez y Ugalde (1995) lo describen en su meto-

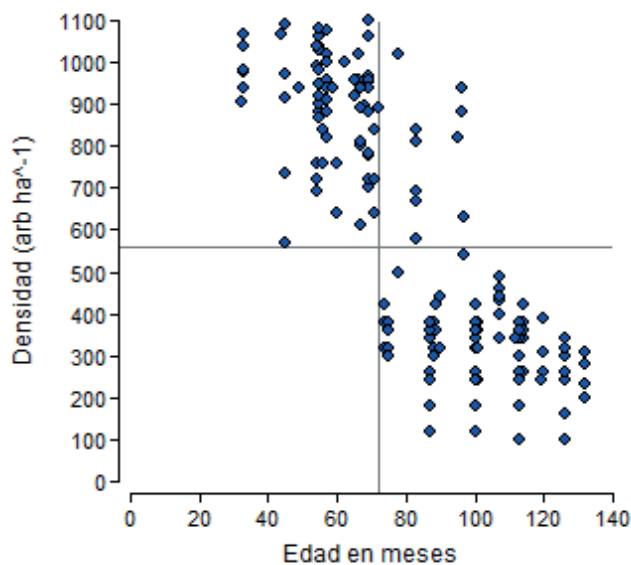


FIGURA 2. Densidad (árboles por hectárea) y la edad en meses.

dología. La heterogeneidad de las densidades a lo largo del tiempo (casi 12 años) mostraba que las plantaciones sí tuvieron un raleo prescrito, es decir, conforme se da el crecimiento de los árboles, se hace necesario el raleo. Claramente se aprecia en la figura 2 cómo es posible realizar una partición de los 72 meses (cuadrante superior izquierdo hacia abajo en el cuadrante inferior derecho), como un punto en el tiempo donde fueron evidentes los raleos practicados, lo cual muestra que las condiciones in situ de suelos en cada sitio en particular no fue tomado en cuenta a la hora de seleccionar los sitios, porque de lo contrario, los raleos hubieran sido más sistematizados, al menos en tiempo. La densidad en esta partición, se redujo hasta una de ≤ 560 arb/ha⁻¹.

Esta reducción en la densidad de árboles se debió a la aplicación de raleos sistemáticos, en el mejor de los casos obedeciendo la prescripción silvicultural de la especie aprobada por la institución (INAB). Sin embargo, cuando se analiza la figura 3a respecto a una edad límite de 72 meses o 6 años (izquierda), la situación muestra que a los 30 meses (2,5 años) ya se había realizado un primer raleo (equivalente a aproximadamente 7,74%), reduciendo la densidad desde un aproximado de 1111 árboles por hectá-

rea hasta un aproximado de entre 860 árboles por hectárea hasta un aproximado de 600 árboles por hectárea.

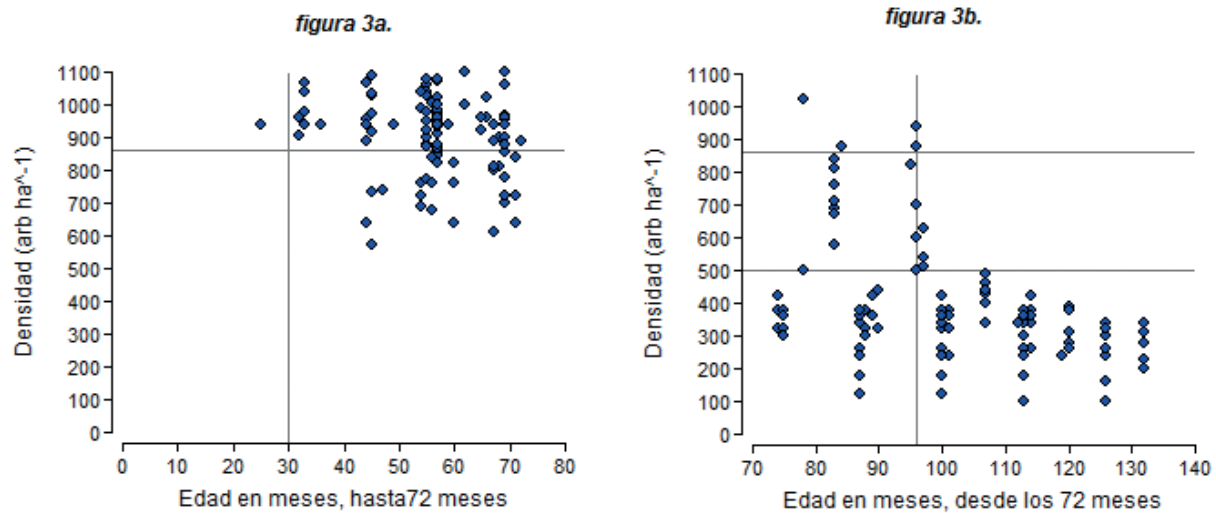
Cuando se analiza la figura 3b se nota una curva descendente en la reducción de árboles por hectárea desde a los 72 meses (6 años), siendo más evidente una reducción a partir de los 96 meses (8 años), reduciéndose la densidad hasta por debajo de los 500 árboles por hectárea. La figura 3b, incluye densidades muy bajas inclusive hasta 100 arb/ha⁻¹ a edades entre 96 y 125 meses, 8 y 10 años, lo cual evidencia la aplicación de raleos muy altos en porcentaje.

Desarrollo y crecimiento a través del índice de sitio (IS) y el incremento medio anual en altura total (IMAHTOT).

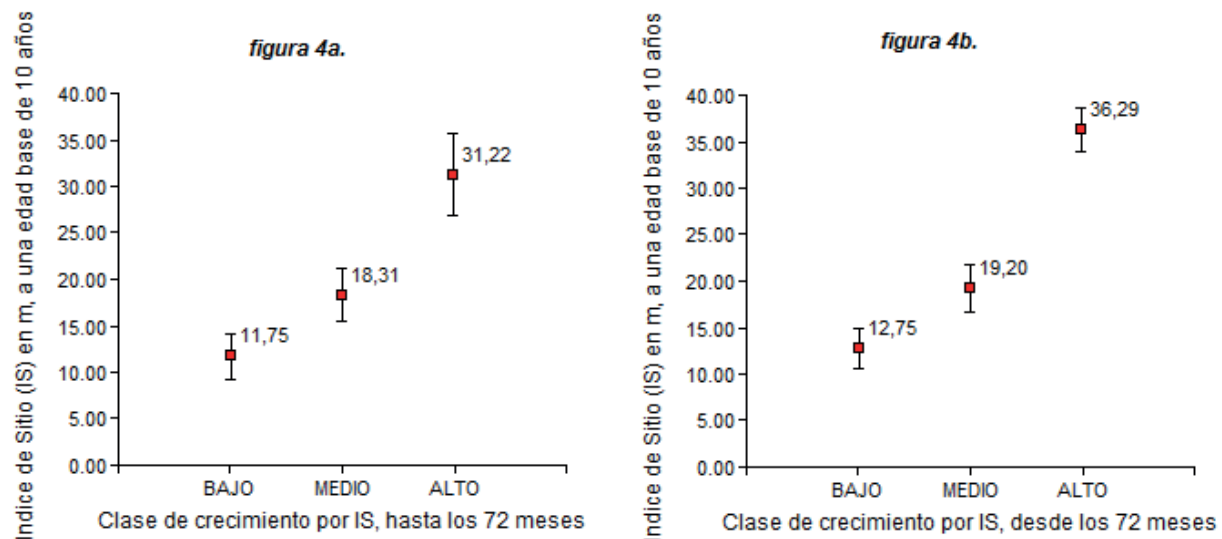
Para el caso de sitios de hasta 72 meses de edad (Fig. 4a.), en promedio los sitios de bajo crecimiento alcanzarán un índice de sitio (IS) a una edad base de 10 años con 11,75 m, mientras que los sitios de crecimiento medio lo harán con 18,31 m y los sitios con crecimiento alto con 31,22 m. Entre el índice de sitio en m y las clases de crecimiento en cada sitio, alto, medio o bajo, existen diferencias estadísticamente significativas a ($p = 0,001$). Es decir, que hay evidencia estadística de que existe una diferencia entre las variables estudiadas sin que tal diferencia sea grande, importante o significativa en el sentido estricto de la palabra; sólo indica que hay diferencias, en este caso numéricas. Esta misma situación se da en los siguientes análisis de varianza y resultados obtenidos.

En el caso de los sitios con edades desde los 72 meses (Fig. 4b.), los sitios bajos alcanzarán un IS con 12,75 m. Sin embargo, los sitios clasificados como de crecimiento medio, lo harán con 19,20 m y los sitios de crecimiento alto con 36,29 m. En estas condiciones, también, existen diferencias estadísticamente significativas entre el IS y las clases de crecimiento de cada sitio a ($p = 0,001$).

Según el análisis del Incremento Medio Anual en Altura Total (IMAHTOT) en los sitios de hasta 72 meses de edad (Fig. 5a), los sitios de crecimiento bajo alcanzaron 1,02 m año⁻¹; entre tanto los sitios medios 2,02 m año⁻¹ y los sitios altos 2,93 m año⁻¹. Asimismo, entre esta variable



FIGURAS 3 a y b, Densidad y edad en meses para sitios con edades hasta 72 meses y desde los 72 meses.



FIGURAS 4 a y b. Índice de sitio y su distribución basado en las clases de crecimiento hasta los 72 meses y desde los 72 meses de edad.

(IMAHTOT) y las clases de crecimiento de sitio, existen diferencias estadísticamente significativas a ($p = 0,001$). El mismo comportamiento sucedió para los sitios desde los 72 meses de edad (Fig. 5b), los sitios de crecimiento bajo alcanzaron $0,90 \text{ m año}^{-1}$, los sitios medios $2,08 \text{ m año}^{-1}$, y los sitios altos $2,79 \text{ m año}^{-1}$. Relativamente los valores son mejores hasta los 72 meses de edad, con excep-

ción de los valores en sitios de crecimiento medio, desde los 72 meses de edad. También entre esta variable (IMAHTOT) y las clases de crecimiento en cada sitio existen diferencias estadísticamente significativas a ($p = 0,001$).

Por otra parte, empleando la metodología de Vásquez y Ugalde (1995), considerando la base de datos en conjunto sin dividir en grupos, muestra que en términos por-

centuales la representatividad de las clases de sitios, encontrando que los sitios de crecimiento bajo están presentes en 16,33% del total de sitios muestreados. En tanto, los sitios de crecimiento medio son los que mayoritariamente están presentes en 70,66%, mientras que los sitios de crecimiento alto están presentes en 13,01%. Cabe resaltar que, entre cada clase de sitio existen diferencias estadísticamente significativas a ($p = 0,001$).

La tabla 1 muestra los datos promedio calculados. La forma de leer tales valores promedio es la siguiente: para el caso del Incremento Medio Anual en diámetro a la altura del pecho (IMADap), los sitios de crecimiento bajo alcanzaron 1,65 cm año⁻¹, mientras que los sitios de crecimiento medio tuvieron 2,23 cm año⁻¹ y los sitios de crecimiento alto 2,82 cm año⁻¹. Aquí también se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre todas las variables silvícolas indirectas y las clases de crecimiento de sitio a ($p = 0,001$).

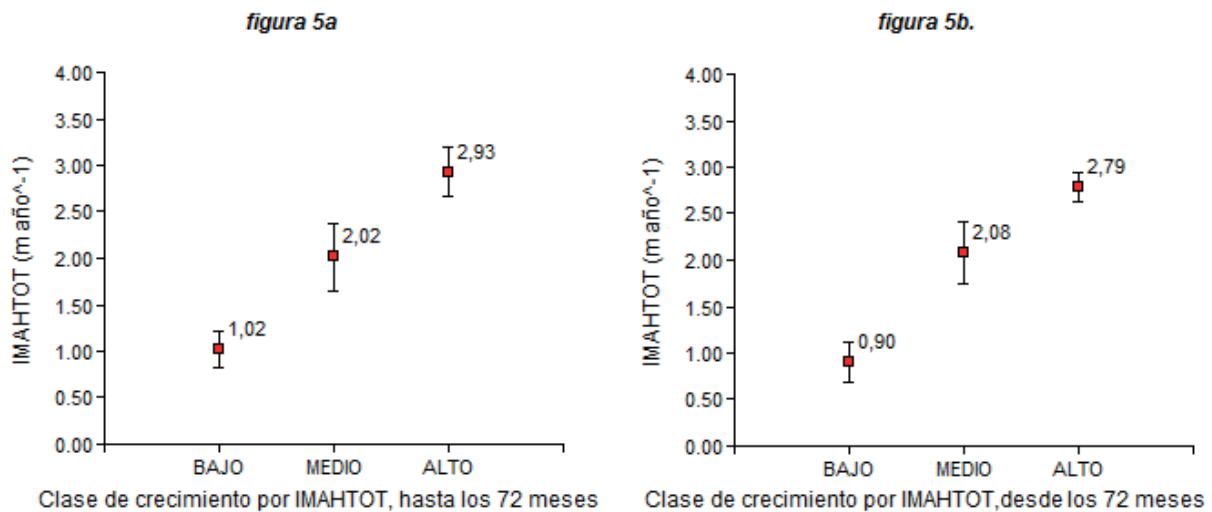
Productividad

En primer lugar, se analiza el incremento medio anual en diámetro a la altura del pecho (IMADap), el incremento medio anual en volumen y la altura dominante (AltDom).

Los valores a analizar aquí tienen otra perspectiva con relación a la Tabla 1, en la cual el dato de las variables se muestra más en función de promedios totales por clase de crecimiento. En cambio, cuando los valores se separan por grupo, hasta los 72 meses y desde los 72 meses, los valores de las variables silviculturales deben leerse desde una perspectiva de su crecimiento en el tiempo.

Cuando se analiza el incremento medio anual en diámetro a la altura del pecho (cm año⁻¹), se observa que hasta los 72 meses (Fig. 6a), los sitios de crecimiento bajo alcanzaron 1,48 cm año⁻¹, mientras que los sitios medios 2,31 cm año⁻¹ y los sitios altos 2,94 cm año⁻¹. Entre tanto, en los sitios desde los 72 meses (Fig. 6b), se encontró que los mejores sitios son los de crecimiento medio que alcanzaron 2,80 cm año⁻¹, inclusive mejor que los sitios de crecimiento alto que alcanzaron 2,35 cm año⁻¹. Los sitios bajos, apenas alcanzaron 1,09 cm año⁻¹. Para esta variable y las clases de crecimiento de sitio, existen diferencias estadísticamente significativas a ($p = 0,001$).

Los resultados del incremento medio anual en volumen (IMAVol), en sitios hasta 72 meses de edad (Fig. 7a), son los siguientes: los sitios con crecimiento bajo alcanzaron 1,67 m³ año⁻¹, mientras que los sitios de creci-



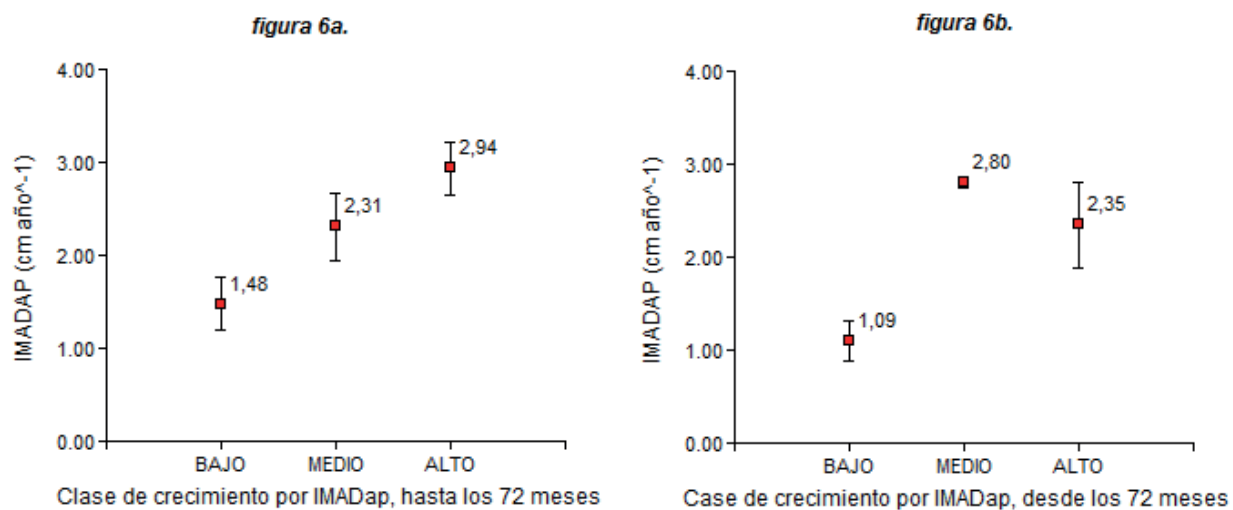
FIGURAS 5. a y b, Incremento Medio Anual en Altura Total y su distribución por clases de crecimiento hasta 72 meses y desde los 72 meses de edad.



TABLA 1. Resumen de valores promedios de variables silvícolas indirectas por clase de crecimiento para cada sitio.

Clase de Crecimiento	IS ₁₀ (m)	IMA Dap (cm año ⁻¹)	IMA HTOT (m año ⁻¹)	IMA AB (m ² año ⁻¹)	IMA VOLUMEN (m ³ año ⁻¹)
BAJO	12,94	1,65	1,34	0,62	2,55
MEDIO	19,13	2,23	1,98	1,55	9,89
ALTO	25,32	2,82	2,62	2,48	17,22

Fuente: Elaboración propia, basada en el análisis de datos provenientes de 248 parcelas permanentes de monitoreo proporcionada por el INAB en el año 2011. Todos los valores alcanzaron la diferencia estadísticamente significativa (*) ($p = 0,005$)

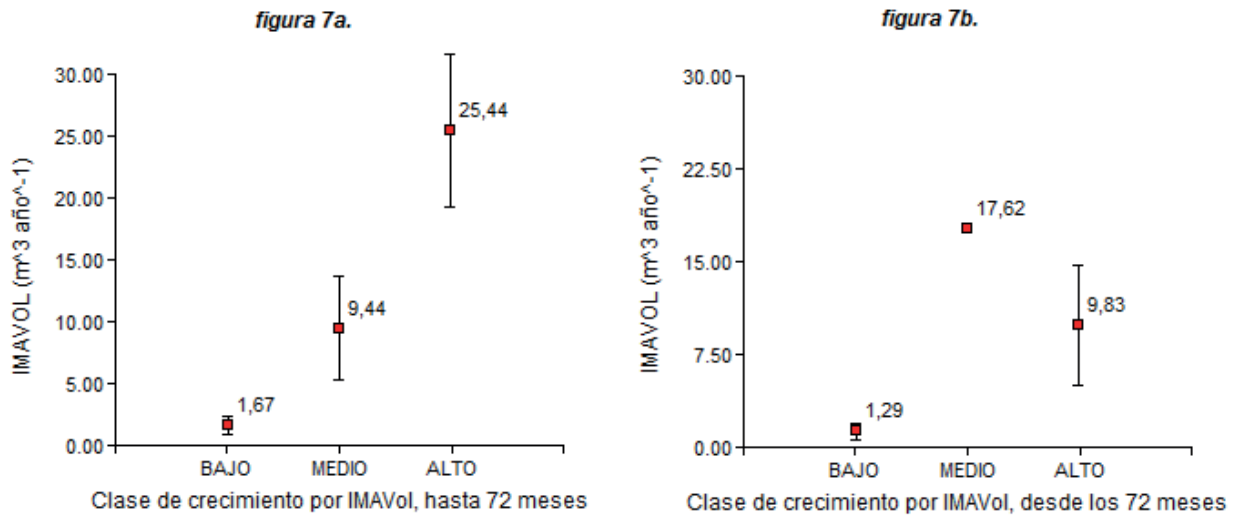


FIGURAS 6 a y b, Incremento medio anual en diámetro a la altura del pecho y su distribución por clases de crecimiento hasta 72 meses y desde los 72 meses de edad.

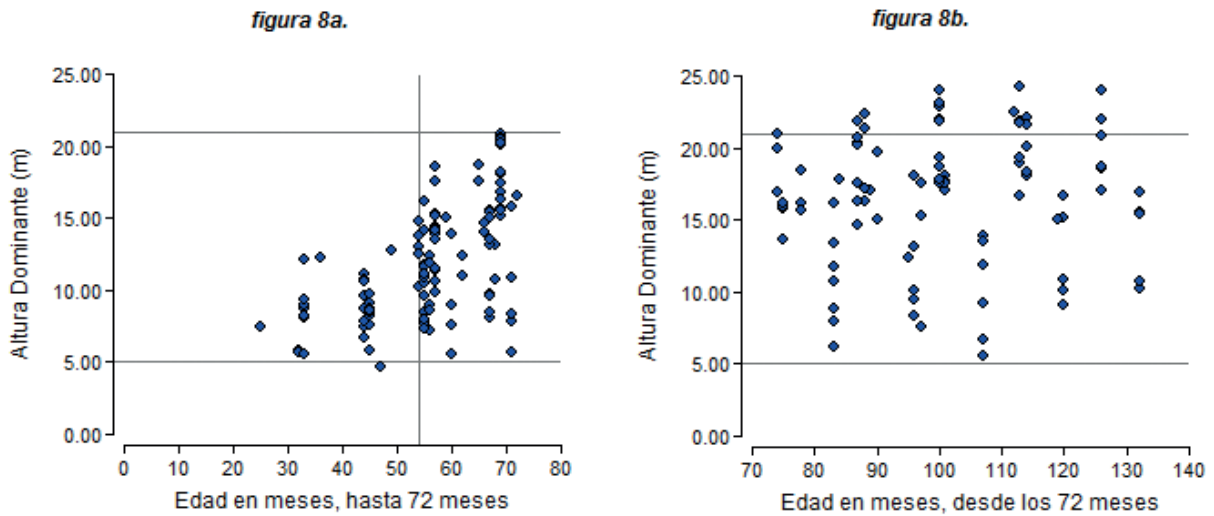
miento medio lograron acumular 9,44 m³ año⁻¹, entre tanto, los sitios de crecimiento alto pudieron acumular cantidades mayores a 25,44 m³ año⁻¹. Entre esta variable (IMAVol) y las clases de crecimiento por productividad, existen diferencias estadísticamente significativas a ($p = 0,001$). Lo contrario se da en los sitios desde los 72 meses de edad (Fig. 7b), donde siempre los sitios bajos alcanzaron un IMAVol de 1,29 m³ año⁻¹, sin embargo, los sitios medios superaron inclusive a los sitios altos, con valores de 17,62 m³ año⁻¹ por encima de los 9,83 m³ año⁻¹, respectivamente.

En seguida, se muestra la situación para la variable altura dominante (m) como precursora para determinar el

índice de sitio (IS), analizada por grupo por edad, permitió visualizar en los sitios clasificados según el crecimiento de las plantaciones, hasta la edad de 72 meses (Fig. 8a), en la cual se aprecia hasta los 54 meses (4,5 años) el valor de dicha variable no superaba los 12 m. Mientras que a partir de los 72 meses (Fig. 8b), tal altura ya había sido superada por la gran mayoría de sitios. Un segundo hallazgo para ambos grupos es que, para una gran mayoría de sitios, la altura dominante osciló entre los 5 y 21 m, dadas las condiciones de sitio bajo análisis, es decir, una gran mayoría de los sitios a diferentes edades osciló en ese rango, y lo que se espera por defecto es que sitios desde los 72 meses puedan alcanzar mayores alturas dominantes.



FIGURAS 7 a y b, Incremento medio anual en volumen y su distribución por clase de crecimiento.



FIGURAS 8, a y b. Altura dominante en metros y la edad en meses, hasta 72 meses y desde los 72 meses de edad.

Lo que dejan ambos hallazgos es que en la figura 8a, ya existían sitios de crecimiento alto antes de los 72 meses, en mayor proporción que la Figura 8b, después de los 72 meses; detectable en los sitios donde la altura dominante supere los 15 m. Es decir, se asume que no se eliminaron árboles dominantes durante los raleos, por consiguiente, las condiciones de sitio serían las que explicarían este comportamiento.

Por último, se analiza la situación para el área basal relacionada con la edad en meses y el valor del área basal ($m^2 ha^{-1} año^{-1}$), y se encontró que hasta los 72 meses (6 años), y según la Figura 10a, el área basal de las plantaciones de teca alcanzan su valor más alto cercano a los $27 m^2 ha^{-1} año^{-1}$, valor que no es superado por los sitios a edad mayores (a partir de 72 meses) (Figura 10b) considerando que después de los 6 años no todos los sitios han sido raleados.



Con esto se evidencia que en algunos sitios las plantaciones respondieron muy bien a un raleo practicado durante ese periodo. Sin embargo, el análisis por separado de los grupos por edades (ver Fig. 9a), hasta 72 meses y desde los 72 meses (Fig. 9b), indica que sólo algunos sitios pueden alcanzar hasta $20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Sin embargo, en los sitios desde los 72 meses, apenas algunos sitios alcanzaron hasta $20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, valor que se ubica similar a los sitios hasta 72 meses, lo cual indica una buena baja respuesta de la planta al raleo sistemático. Este desorden en el crecimiento y desarrollo, puede deberse precisamente a que los sitios no fueron previamente analizados en términos de un estudio detallado de suelos, y lo que en un principio debía basarse en prescripciones definidas para especie en un sitio determinado fue hecho de manera arbitraria, sin una base técnica-científica apoyada, en el mejor de los casos, en un monitoreo del crecimiento de las plantaciones. En ambas figuras, los sitios con crecimientos altos alcanzaron áreas basales $> 20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de los 55 a los 72 meses y de ahí ningún otro sitio lo logró a ninguna otra edad a lo largo de casi 12 años.

Curvas de índice de sitio

Mediante la utilización de la ecuación modificada de Vallejos y Ugalde (1998) fue posible obtener las curvas

que muestran los sitios en los cuales está creciendo y desarrollándose las plantaciones de teca.

La siguiente Figura 9 muestra la altura dominante (m) de los rodales y su clasificación en sitios con crecimientos bajos y sitios crecimientos altos.

A partir de este análisis, fue posible obtener los valores correspondientes para cada clase de sitio a la edad base de 10 años, que se muestra en la Tabla 2.

Utilizando la anterior Tabla 2 es posible caracterizar otros sitios de plantaciones de teca en el rango de edad dentro de las cuales se hizo el presente análisis.

TABLA 2. Resumen de valores promedio por clase de sitio para el índice de sitio (IS_{10}) a la edad base de 10 años y altura dominante (m).

IS_{10} Mollinedo	Altura dominante, m	Clase de sitio	Calidad de sitio	n
06,98-14,38	< 14,44	Bajo	III	49
14,39-21,54	14,44 – 21,60	Medio	II	126
21,55-28,94	>21,60	Alto	I	73

figura 9a.

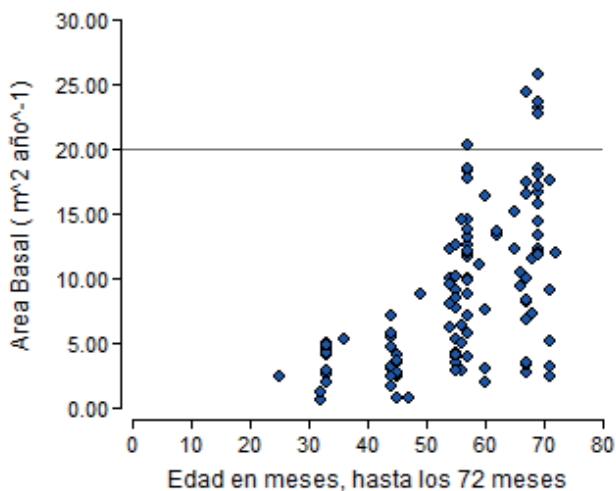
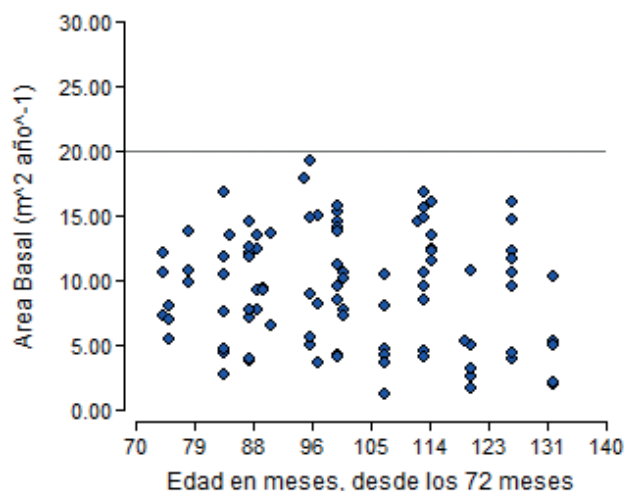


figura 9b.



FIGURAS 9 a y b, Área Basal y la Edad en meses, para sitios hasta 72 meses y a partir de los 72 meses de edad.

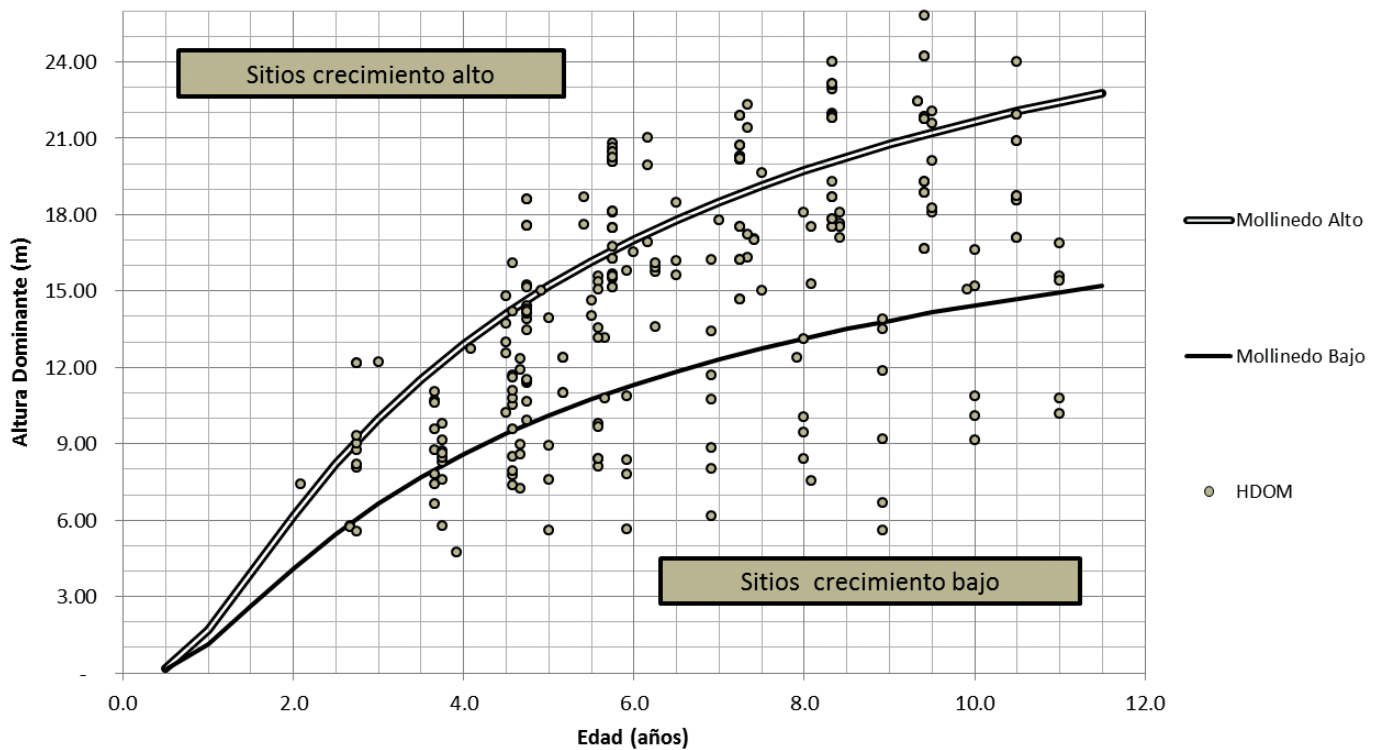


FIGURA 10. Curvas de índice de sitios.

DISCUSIÓN

Distribución, espaciamento y densidad de las plantaciones de teca

El análisis de los valores en las variables de las PPM, permitió encontrar que las plantaciones sufrieron un raleo equivalente a un promedio de 53% de su densidad inicial, a la edad aproximada de 72 meses (6 años), reduciendo la misma desde un promedio de 1,111 árboles por hectárea (establecidas a un distanciamiento de 3m x 3m), hasta un límite inferior de aproximadamente 570 árboles por hectárea. Sin embargo, y cuando se analiza este primer grupo, se encontró que las plantaciones tuvieron una reducción en su densidad aproximadamente a los 44 meses o 3,5 años. El espaciamento inicial y el primer raleo son las más importantes decisiones en una rotación, porque definen a lo largo del tiempo el curso y flexibilidad de las operaciones subsiguientes que son críticas para el mantenimiento y el vigor y crecimiento del rodal (Pérez 2005).

El análisis por separado (hasta los 72 meses y desde los 72 meses) permitió encontrar una heterogeneidad en el crecimiento, manifestado más en el IMADap, IMAAB y el IMAVol, al encontrar valores más altos en sitios hasta los 72 meses y en el caso de sitios desde los 72 meses, los sitios medios superan a los sitios altos.

Esto pudo deberse a que no existió una adecuada selección de los sitios al momento de identificar las mejores condiciones de suelo y también, a la tardanza en la implementación de los tratamientos silviculturales, principalmente los raleos, tal como Pérez (2005) lo señala, tanto el raleo como la poda son actividades claves en la especie. Es decir, la plantación responde adecuadamente a un raleo cuando éste es aplicado en el momento propicio. Otro error se presentó al generalizar el manejo a todos los sitios, sin conocer a profundidad y detalle los crecimientos en clases conforme las plantaciones se desarrollan y que al monitorear, permite conocer su comportamiento. Otro ejemplo de la importancia de monitorear el crecimiento de



la especie radica, de acuerdo con Pérez (2005), en la relación entre la composición y estructura de la copa y el crecimiento del fuste, sugiere que la formación de duramen está altamente correlacionada con la cantidad de follaje.

Pérez (2005) indica que la teca crece más rápido en América Central que en muchos otros países y que a pesar de existir muchas prescripciones silviculturales desarrolladas en los Neotrópicos, incluyendo la de Costa Rica según Vásquez y Ugalde (1995), Montero (1999), Ávila (2003), Mollinedo (2003) y Vaides (2004); sin embargo, cada estudio maneja áreas específicas del potencial de manejo y crecimiento y no presentan una especie de guía para un manejo integrado que sea aplicable a las condiciones de Centroamérica. De ahí que cada sitio, finca o rodal debe tener su propia prescripción silvicultural y no generalizar su manejo.

Bermejo, Cañellas y San Miguel (2004), muestran que en Costa Rica las plantaciones a diez años deberían alcanzar densidades ≤ 400 arb/ha⁻¹, de acuerdo con las calidades de sitio presentes, concluyendo que el modelo de IS calculado en sus resultados puede ser adoptado provisionalmente para el manejo de plantaciones de teca en este país. Una muy importante conclusión de Bermejo *et al.* (2004), respalda los hallazgos encontrados en este estudio y puntualiza que elaborar tablas de crecimiento y rendimiento para cada sitio vendría a convertirse en la mejor herramienta para diseñar regímenes de raleo y las otras actividades relacionadas al manejo de plantaciones de teca.

Altura dominante (AltDom) en m

Al respecto, cuando se da una competencia inicial muy fuerte, como lo señala Pérez (2005), en el sentido de que, si árboles jóvenes entran en competencia, el rango de su crecimiento en volumen se verá rápidamente reducido. De acuerdo con Pérez (2005) el volumen individual se incrementa en un patrón sigmoidal óptimo si no aparece ninguna limitación. Según la figura 9a. al menos tiene una tendencia, aunque es muy temprano en edad (hasta 6 años). Sin embargo, en la Figura 9b. no existe ninguna tendencia y a casi 12 años, se deberían tener ya los indicios de un patrón sigmoidal.

Área Basal en (m² ha⁻¹ año⁻¹)

Del análisis de las figuras 10a y 10b, se destaca que nuevamente muestran una heterogeneidad en el crecimiento de la especie en Guatemala. Sin embargo, si se aplicaran criterios como los de Vásquez y Ugalde (1995) podrían alcanzarse resultados como los encontrados en evaluaciones de teca en varias regiones de Costa Rica, las cuales concluyeron que, en sitios de crecimiento medio, los raleos deberían permitir a tales sitios alcanzar un área basal de entre 15 m² ha⁻¹ a 20 m² ha⁻¹ y alcanzar por encima de los 20 m² ha⁻¹ en sitios de crecimiento alto.

CONCLUSIONES

El comportamiento de los valores encontrados confirma la existencia de una heterogeneidad de sitios, dado que tanto antes, como después de los 72 meses, se encontraron sitios de crecimientos altos, medios y bajos. Los sitios de crecimientos medio (70,66%), que comprende la mayoría de los proyectos estudiados, abarca toda esta heterogeneidad a lo largo del periodo de estudio, casi 12 años. Cabe destacar que la proporción de sitios de crecimiento bajo (16,33%), es bastante representativo (equivalente a unas 5 389 ha), cuyos rendimientos jamás alcanzarán un valor comercial significativo, con la consecuente pérdida en relación con la inversión que representan.

Los valores encontrados en sitios de crecimientos medio a altos (84%) confirman que las inversiones realizadas podrán alcanzar el rendimiento esperado, siempre y cuando continúen o se oriente el manejo de tales plantaciones bajo un esquema sostenible, que implique manejo silvicultural acorde a los sitios donde se establecieron. Lo anterior debido a que los resultados encontrados (mayores valores en sitios medios que en sitios altos para las variables IMADap, IMAAB e IMAVol) señalan ausencia de buenas prácticas de manejo en las plantaciones estudiadas, desde la misma selección de sitios, preparación del terreno y consecuente definición de una prescripción silvicultural por sitio. Esto último resalta la necesidad de estudiar a un mayor detalle las condiciones de cada sitio donde fue establecida la teca o bien, previo a establecer una plantación, hacerlo a nivel de las condiciones de sitio (condiciones de suelo y clima).

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al programa de becas de la International Tropical Timber Organization (ITTO), las Universidades de Córdoba, España y Concepción, Chile y al Instituto Nacional de Bosques (INAB), por el apoyo que facilitaron para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Ávila, R. I. (2003). Evaluación del estado y crecimiento inicial de cuatro especies prioritarias (*Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus caribaea* Morelet, *Pinus oocarpa* Schiede y *Tectona grandis* L.f.), del programa de incentivos forestales en la región 2, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz, Guatemala Tesis de maestría no publicada, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 176 p.
- Bermejo, I., Cañellas, I. y San Miguel, A. (2004). Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 189 (2004), 97-100.
- Cabrera, C. (2003). *Plantaciones forestales: oportunidades para el desarrollo sostenible* (Serie de documentos técnicos No. 06). Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas-Instituto De Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- De Camino, R. y Morales, J. P. (Eds.). (2013). *Las Plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades*. Turrialba, C.R.: CATIE.
- De Camino, R.V., Alfaro, M. M. y Sage, L. F. (2002). *Teak (Tectona grandis) in Central América. Forest Plantations Working Paper 19*. Rome: Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO.
- Fonseca G., W. (2004). *Manual para productores de teca (Tectona grandis L.f.) en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Reforestacion/2004_Fonseca_ManualProductoresTeca.pdf.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar (URL) y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA). (2006). *Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala: Autor.
- ISTF Noticias. (2009). *Manejo de plantaciones de teca para productos sólidos. Sociedad Internacional de Forestales Tropicales*. Recuperado de http://www.istf-bethesda.org/specialreports/teca_teak/teca.pdf.
- Keogh, R. M. (2006). *Teak market: Central American Focus*. Ireland: Coillte Consult. Head of Coillte International Teak Unit.
- Keogh, R. M. (2009). *The future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted. Forests and Trees Working Paper FP/44E*. Roma: FAO.
- Kollert, W. y Cherubini, L. (2012). *Teak resources and market assessment 2010*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>
- Kollert, W. y Walotek P. J. (Eds.). (2015). *Global teak trade in the aftermath of Myanmar's log export ban. Planted Forest and Trees Waking. Paper FP/49/E*. Roma: FAO.
- 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 no publicada, CATIE, Turrialba, CR.
- Montero, M. (1999). Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis de maestría no publicada, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile.
- Pandey, D. y Brown, C. (2000). Teak: a global overview. *Unasylva*, 51 (201), 11 p.
- Pérez, D. (2005). *Stand growth scenarios for Tectona grandis plantations in Costa Rica*. Disertación doctoral no publicada. Universidad of Helsinki. Finlandia.
- Tuy, H. (2006). *Estado del uso de la tierra y ordenamiento territorial de Guatemala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar-Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas-Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- Ugalde, A. (2002). *Metodología para la instalación de Parcelas Permanentes de Monitoreo y manejo del programa Manejo de Información de Recursos Arbóreos y Silvícolas -MIRASILV-*. Turrialba, C.R.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.



- Váides 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 en Guatemala*. Tesis de maestría no publicada, CATIE, Turrialba, C.R.
- Vallejos, B. O. y Ugalde, A. L. (noviembre 1998). *Índice de sitio dasométrico y ambiental para Tectona grandis, L.f., Bombacopsis quinatum (Jacq) Dugand y Gmelina arborea Roxb. creciendo en Costa Rica*. Documento presentado en el 1er Congreso Latinoamericano, El manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Desafío del Siglo XX. Valdivia, Chile.
- Vásquez, W. y Ugalde, L. (1995). *Rendimiento y calidad de sitio para Gmelina arborea, Tectona grandis, Bombacopsis quinatum y Pinus caribaea en Guanacaste Costa Rica* (Serie Técnica, Informe Técnico No. 256). Turrialba, C.R.: IDA/FAO-CATIE.
- Zamora, R. y Barrera, I. (2010). *Diagnóstico y marco de referencia de la estrategia y Plan de Acción para el Desarrollo Foresto-Industrial de Guatemala*. Recuperado de <http://www.pfn Guatemala.org/files/admin/Descargas/Marco%20de%20Referencia%20Diagnostico%20FODA%20Estrategia%20foresto%20industrial.pdf>

Manuscrito recibido el 9 de diciembre de 2014.
Aceptado el 27 de junio de 2016.

Este documento se debe citar como:
Mollinedo G., M. S., Herrera M., M. Á. y Muñoz S., F. (2016). Caracterización del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y estimación de curvas de índice de sitio, en el área septentrional de la República de Guatemala. *Madera y Bosques*, 22 (2), 89-103.