

UNIVERSIDAD NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

Crecimiento de clones de teca (*Tectona grandis* L.f.) de cuatro años de edad, a diferente intensidad de aclareo, en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica

Tesis con formato artículo científico sometida a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal

Por:

**Noemy Rebeca Sánchez Valverde**

Heredia, Costa Rica

Octubre, 2021

## ACTA DE APROBACIÓN

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

### MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

---

**William Hernández Castro, Ph.D.**

Representante Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

---

**Marilyn Rojas Vargas, M.Sc.**

Representación de la Dirección de EDECA

---

**Carlos Ávila Arias, M.Sc.**

Tutor

---

**William Fonseca González, Ph.D.**

Lector 1

---

**Rafael Murillo Cruz, M.Sc.**

Lector 2

---

**Noemy Rebeca Sánchez Valverde, Bach.**

Estudiante

**Crecimiento de clones de teca (*Tectona grandis* L.f.) de cuatro años de edad, a diferente intensidad de aclareo, en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica**

**Clonal teak (*Tectona grandis* L.f.) growth at four years old, at different intensity of thinning, at Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste Costa Rica**

Noemy Sánchez Valverde<sup>1</sup>

**Resumen**

Teca es la especie de mayor área plantada para producción forestal comercial en Costa Rica y mediante la presente investigación se estudió el crecimiento bajo diferente nivel de competencia en plantaciones clonales. Para esto se establecieron dos ensayos (Finca Limbo y Finca Frontera) en Santa Cecilia de La Cruz, provincia Guanacaste, Costa Rica. El diseño experimental constó de cinco bloques con cuatro tratamientos de reducción de área basal (0 %, 15 %, 30 %, 45 %), distribuidos al azar. Se aplicó un análisis de varianza para el incremento corriente anual en diámetro normal, altura total, área basal y volumen total, además de la prueba de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) como comparador múltiple. Los resultados indican que T45 y T30 fueron estadísticamente superiores a T0 y T15, además los análisis estadísticos sugieren una relación directa entre la disminución del área basal y los incrementos en las variables dasométricas. A partir de lo anterior se deja a criterio del silvicultor reducir en 45 % o 30 % del área basal en la primera intervención de la masa, previo análisis de las condiciones propias. Asimismo, los resultados sugieren establecer inicialmente de 450 árb ha<sup>-1</sup> a 570 árb ha<sup>-1</sup> como máximo en las próximas plantaciones, en condiciones y material genético similar.

**Palabras clave:** aclareo, densidad, incremento corriente anual, manejo silvicultural, teca clonal.

**Abstract**

Teak is the species with the largest planted area for commercial forestry production in Costa Rica and

---

<sup>1</sup> Ingeniera Forestal. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia.  
[naamarivka777@gmail.com](mailto:naamarivka777@gmail.com)

through the present investigation the growth under different levels of competition in clonal plantations was studied. For this, two trials were established (Finca Limbo and Finca Frontera) in Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste province, Costa Rica. The experimental design consisted of five blocks with four basal area reduction treatments (0%, 15%, 30%, 45%), distributed at random. An analysis of variance was applied for the annual current increase in normal diameter, total height, basal area and total volume, in addition to the Tukey mean test ( $\alpha = 0.05$ ) as multiple comparator. The results indicate that T45 and T30 were statistically superior to T0 and T15, in addition the statistical analyzes suggest a direct relationship between the decrease in basal area and the increases in the dasometric variables. Based on the above, it is left to the forester's discretion to reduce the basal area by 45% or 30% in the first intervention of the mass, after analyzing the conditions itself. Likewise, the results suggest establishing initially from 450 trees ha<sup>-1</sup> to 570 trees ha<sup>-1</sup> as a maximum in the next plantations under similar conditions and genetic material.

**Key words:** thinning, density, annual current increment, forestry management, clonal teak.

## **Introducción**

De acuerdo con la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), las plantaciones forestales representan alrededor del 3 % del área forestal mundial; es decir, cubren aproximadamente 131 millones de hectáreas y son fundamentales para atender la demanda mundial sostenible de madera y otros productos forestales, así como para la protección de recursos naturales indispensables como agua, suelo y biodiversidad (FAO, 2020a). Asimismo, sus beneficios se extienden a la captura de carbono, la disminución del impacto por efecto del cambio climático y la producción de oxígeno. Para el 2019 un tercio de la población mundial mantenía una estrecha dependencia de los recursos forestales (FAO 2020b) y, en la actualidad, el 44 % de las plantaciones forestales para producción intensiva de madera en el mundo corresponden a especies introducidas como la teca (FAO, 2020a).

La teca (*Tectona grandis* L.F) es una especie reconocida en el ámbito mundial por las propiedades que caracterizan su madera, dentro de las que se destacan durabilidad, color, trabajabilidad, resistencia (al ataque de plagas, hongos, químicos, entre otros), variedad de usos y su alto valor en el mercado (Chaves, 2017; Molina,

2017). En Costa Rica es la especie forestal con mayor área plantada (45 853.16 ha), con una producción total estimada de 41 278.93 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017). El último censo agropecuario del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2014) cuantificó 3 239 fincas productoras de teca en el país y la provincia de Guanacaste registra la mayor cantidad de fincas (1 117).

En los últimos años, más del 60 % de las plantaciones de teca en el país provienen de material clonado, evaluado previamente en ensayos de selección fenotípica y genotípica en campo. Lo anterior ha permitido comprobar tanto la mejora de rendimientos como la reducción del tiempo de turnos de rotación y el aumento significativo en la calidad de los individuos establecidos en sistemas de producción intensiva con fines comerciales (Fallas, 2017).

En Costa Rica el sector forestal y la academia han procurado generar información valiosa sobre esta especie, pero la mayor parte de los trabajos reportados se llevaron a cabo en plantaciones originadas con semilla, en ausencia de una silvicultura de calidad (manejo de plantas competidoras, preparación del suelo, fertilizaciones, etc.), por ende, con un paquete tecnológico ineficiente (Chávez y Fonseca, 1991; Briscoe, 1995; Vallejos, 1996; Montero, 1999; Pérez y Kanninen, 2003; Fonseca, 2004; Bermejo, Canellas y San Miguel, 2004; Pérez y Kanninen, 2005). Distintos autores concuerdan en que, la información generada con estos esquemas de manejo subestima la productividad de los sistemas actuales de producción establecidos a partir de material clonal (De Camino y Morales, 2013; Rivera, 2015; Martínez, 2015; Fallas, 2017; Chaves, 2017). Esto ha contribuido a que diferentes instituciones generen proyectos de investigación forestal para crear paquetes tecnológicos competentes.

Al respecto, el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), ha realizado alianzas con empresas privadas como Novelteak Costa Rica S. A. para el desarrollo de estudios en distintas áreas del manejo forestal intensivo. Esto con el propósito de mejorar las técnicas de producción, las cuales constituyen variables determinantes en la aceptación de la teca como especie de alto valor económico y prioritaria en la producción de plantaciones forestales y de su uso principal en la industria.

A pesar de estos esfuerzos, la importancia de la teca tiene un origen económico y está condicionada

por el mercado internacional. Esto le exige tanto al productor como al investigador conocer todos los elementos referentes a maximizar la eficiencia y productividad de su cultivo y que esto repercuta directamente en el mejoramiento de los indicadores financieros del negocio forestal. Con respecto a esto, una de las prácticas silviculturales más importantes en el desarrollo de las plantaciones forestales son los aclareos. Por ende, llevar a cabo aclareos en forma oportuna es imprescindible para obtener buenos rendimientos, incluso podría ser más beneficioso que realizar fertilizaciones continuas (Fonseca, 2004). La teca responde muy lentamente a aclareos tardíos, lo que ocasiona la reducción de la producción a largo plazo y el aumento de posibles daños patológicos y físicos, por lo que si el aclareo se retrasa o se hace de manera incorrecta podría generar implicaciones económicas desastrosas para el productor (Martínez, 2015).

Estudios confirman que el manejo de la densidad de árboles es importante al disminuir competencia por recursos, controlar y guiar la estructura vertical y horizontal de la masa, incrementar la productividad del sitio, aumentar las dimensiones de los individuos y estimular las características morfológicas deseables, como rectitud del fuste y otras adecuadas para el aserrío comercial, además de disminuir el tiempo requerido para la cosecha final; todo esto en función de la especie, de los objetivos de producción y de la calidad del sitio, con el fin de optimizar los rendimientos y, por ende, la rentabilidad de las plantaciones (Rivera, 2015; Martínez, 2015).

Es por ello que se han elaborado estudios alrededor del mundo para determinar la intensidad de manejo relacionada con los aclareos en teca, por medio de tratamientos realizados con distintos porcentajes y tiempos de intervención, entre los que se incluye un testigo absoluto (Proaño, 2014; Da Silva, Vendruscolo, Rocha, Chaves, Souza y Da Motta, 2016; Budiadi, Widiyatno e Ishii, 2017; Vacharangkura, Himmapan, Noda y Yoneda, 2017; Dionisio, Araujo, Correia, Martins, Da Costa y Maciel, 2018, entre otros). Estos han proporcionado interesantes resultados en variables dasométricas, calidad de sitio y espaciamiento, todas con respecto al porcentaje de intensidad del manejo de la masa y al número de intervenciones.

En la actualidad, en Costa Rica existen vacíos de información sobre aclareos, en aspectos como la intensidad, frecuencia y respuesta del material genético en sistemas de producción clonal e intensiva. A partir de lo expuesto, la presente investigación se planteó el objetivo de determinar el porcentaje de intensidad de

aclareo óptimo sobre plantaciones jóvenes (4 años) de teca clonal en su primera intervención, aplicando diferentes intensidades. Lo anterior mediante la evaluación del desempeño de cada tratamiento con respecto a los incrementos producidos en diámetro normal, altura total, volumen en pie y calidad de los individuos, en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste. La información generada por medio de este estudio pretende aportar al desarrollo y optimización de un paquete tecnológico, para orientar al mejoramiento de las prácticas de manejo forestal con material genético superior (clones), aplicadas a los aclareos en plantaciones *T. grandis*.

## **Materiales y métodos**

### **Descripción del sitio experimental**

El trabajo se llevó a cabo en el distrito Santa Cecilia, cantón La Cruz, en la provincia Guanacaste. Santa Cecilia se ubica en la zona de vida bosque húmedo tropical (bh-T basal) y presenta precipitaciones promedio de 2200 mm al año y la temperatura media del distrito es de 25.7 °C (Instituto Meteorológico Nacional, 2019). El área de estudio se encuentra dentro del orden de suelos denominado Inceptisoles, los que se caracterizan por poseer altos contenidos de hierro y aluminio, por lo que son ácidos, bajos en calcio (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2015).

La investigación se desarrolló en fincas de la empresa Novelteak Costa Rica S. A., establecidas con material clonal reproducido a partir de su propia colección genética. El bloque de plantación utilizado se estableció en 2014, con un distanciamiento inicial de 3.5 m x 3.5 m. Los diseños experimentales se establecieron en los sitios denominados Finca Limbo, localizada en las coordenadas geográficas 11° 05' 53.00" latitud N y 85° 27' 41.00" longitud W y Finca Frontera, situada en las coordenadas geográficas 11° 07' 49.16" latitud N y 85° 26' 31.86" longitud W (Figura 1).

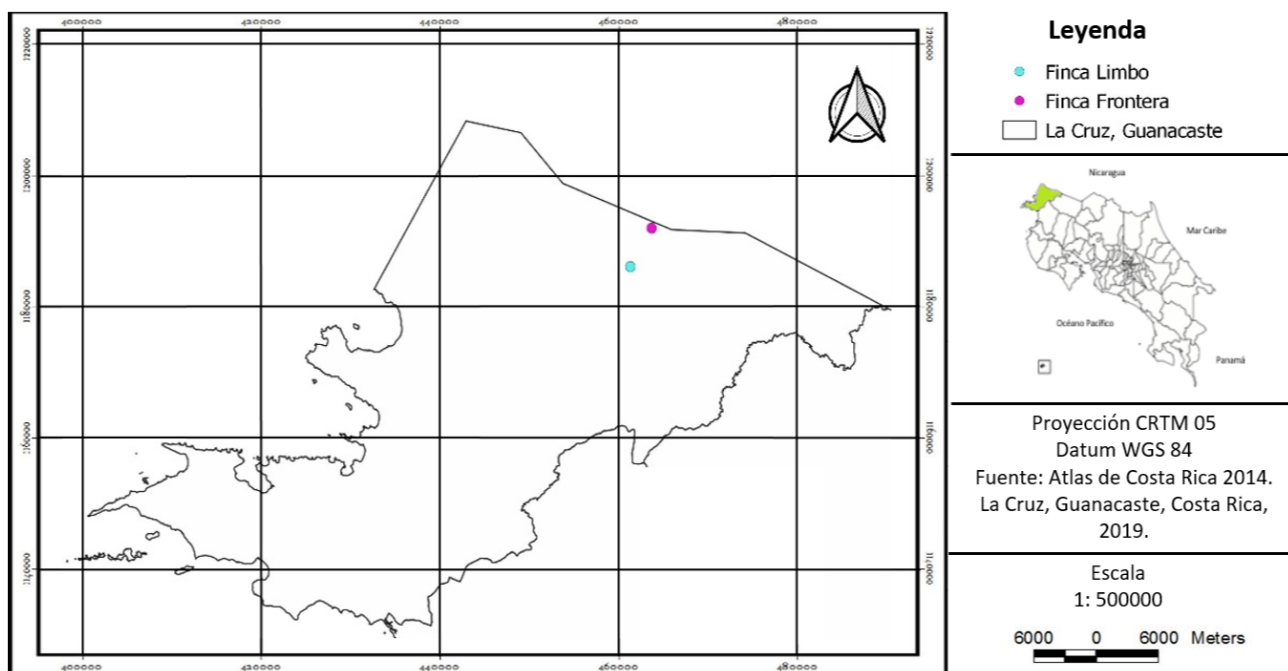


Figura 1. Ubicación de los ensayos experimentales en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste, 2018

Ambos ensayos poseen características que los diferencian, principalmente en el aspecto topográfico. Con base en las curvas de índice de sitio (IS) de Mora-Chacón, Jerez-Rico, Meza-Picado, Chinchilla-Mora y Chaves-Salas (2022), se determinó la ubicación de las fincas incluidas en el área de estudio. Finca Limbo se ubica en el IS=21, registra pendientes menores o iguales a 15 %, una profundidad efectiva promedio de 60 cm y grado de pedregosidad media (Decreto n.º 33957, 2007). Por su parte, Finca Frontera se sitúa en el IS=24, presenta pendientes de hasta 45 %, con una profundidad efectiva de 45 cm y pedregosidad alta (Decreto n.º 33957, 2007) (Tabla 1).

Tabla 1. Índice de sitio de las fincas experimentales, Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste, 2019

Ensayos	Hdom (m)	IS
Finca Limbo	9.3	21
Finca Frontera	12.5	24

\*Hdom: altura dominante promedio, IS: Índice de sitio (Mora-Chacón, et. al, 2022).

## **Diseño experimental**

Como se mencionó, se instalaron dos ensayos de investigación mediante el diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), en el 2018. Ambos constan de cinco bloques o repeticiones, cada uno contiene los cuatro tratamientos evaluados que consisten en intensidades de aclareo en función de la reducción del área basal. Cada tratamiento equivale a una parcela, conformada por 49 árboles enumerados para su evaluación. Es decir, un total de 980 individuos, distribuidos en 20 parcelas que inicialmente se tomaron en cuenta para trazar la línea base de los ensayos (Figura 2).

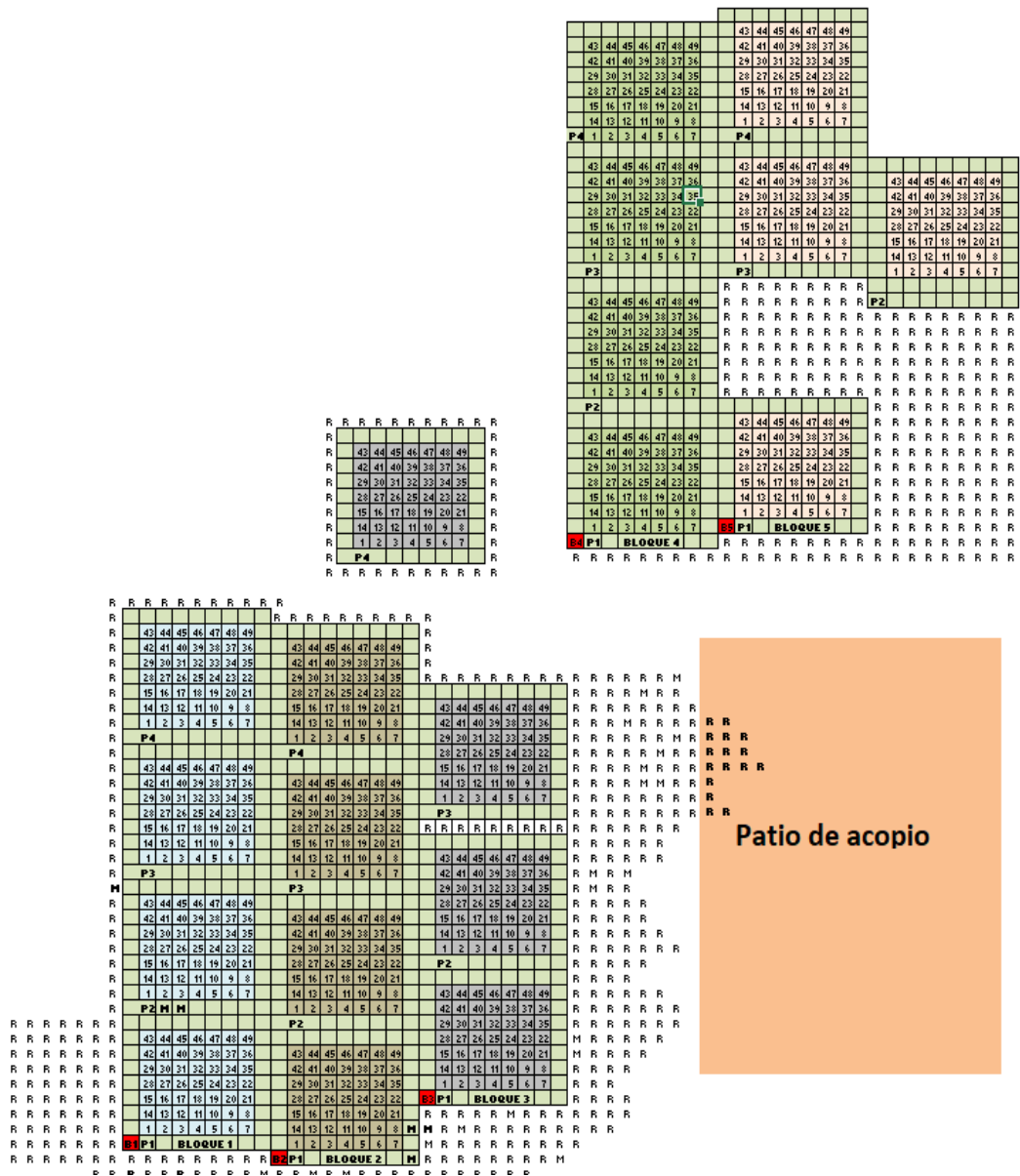


Figura 2. Croquis ensayo experimental Finca Limbo en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste, 2018

En cada una de estas parcelas se midió el diámetro normal (D) y la altura total (Ht), además, se calculó el área basal (G) y se evaluó la calidad de cada individuo, con el fin de seleccionarlas para agruparlas de acuerdo con un índice de sitio similar entre ellas. Como se muestra a continuación:

- Diámetro normal (1.3 m sobre el nivel del suelo), medido con cinta diamétrica.
- Altura total (Ht), estimada con clinómetro *Suunto*.
- Área basal (G): se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$g = (\pi/4) * D^2 \text{ (1)}$$

Donde:

$D$  = diámetro normal (m).

$\pi/4$  = constante.

A partir de esto, los tratamientos se asignaron de la siguiente manera: como tratamiento testigo, se seleccionaron las parcelas que contenían una mayor ocupación del sitio en cuanto a área basal y brindaban una línea base de ocupación máxima. Por otra parte, las parcelas que se asignaron al tratamiento de 45 % fueron aquellas que comprendían el menor valor de área basal, factor asociado con la mayor mortalidad en una parcela. Con el mismo mecanismo se definen los tratamientos de 15 % y 30 % de reducción de área basal.

Después de asignarse el orden de las parcelas (tratamientos) en cada bloque, se llevó a cabo la aplicación de los tratamientos de reducción de área basal (Tabla 2), hasta cumplir con el porcentaje. Para este efecto, se utilizaron los criterios de prioridad para la eliminación de uno u otro árbol dentro de cada parcela: sanidad, calidad, posición sociológica y grosor.

*Tabla 2. Tratamientos de reducción del área basal, Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste, 2018*

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
T0	Reducción del 0 % del área basal de la parcela
T15	Reducción del 15 % del área basal de la parcela
T30	Reducción del 30 % del área basal de la parcela
T45	Reducción del 45 % del área basal de la parcela

La evaluación realizada en el 2018, anterior a los aclareos, constituyó la línea base a la que se llama *año 0*, a partir de la cual se dio seguimiento a los incrementos en diámetro normal, área basal y calidad (variables dependientes), correspondientes al efecto de los tratamientos (variable independiente). Un año después de la aplicación de los tratamientos de reducción de área basal, a lo que se llamará *año 1*, se llevó a cabo la segunda evaluación a la masa forestal en pie (marzo de 2019).

Para cuantificar la diferencia en los incrementos de un año a otro se utilizó el Incremento Corriente Anual (ICA) para diámetro normal, área basal, altura total y volumen total. De acuerdo con este incremento (ICA), se llevó a cabo el análisis de resultados y las conclusiones, ya que cuando se establecieron los ensayos, el sitio donde se encontraba la plantación no presentaba condiciones homogéneas que permitieran utilizar únicamente los valores acumulados de las variables al año 1. De esta forma, se recopiló la información de los siguientes indicadores:

- Volumen total en pie (Vt):

$$Vt \text{ (m}^3/\text{árb)} = D^2 * \frac{\pi}{4} * Ht * FM \text{ (2).}$$

Donde:

$D$  = diámetro normal (m).

$\pi/4$  = constante.

$Ht$  = altura total.

$FM$  = Factor mórfo: 0.45 (Tamarit-Urías, De los Santos-Posadas, Aldrete, Valdez-Lazalde, Ramírez-Maldonado y Guerra-De la Cruz, 2013).

- Volumen total en pie por hectárea:

$$Vt \text{ (m}^3/\text{ha)} = Vt * Nt \text{ árb (3).}$$

Donde:

$Vt$  = Volumen total en pie (m<sup>3</sup>/árb).

$Nt$  de árb = Número total de árboles por tratamiento.

- Incremento Corriente Anual (ICA):

$$ICA = \text{variable año 1} - \text{variable año 0 (4).}$$

Dónde:

Variable = diámetro normal, altura total, área basal o volumen total.

Año 1= mediciones post aclareo (2019).

Año 0= Línea base (2018).

- Calidad: se evaluó de acuerdo con la metodología propuesta por Murillo y Badilla (2010).
- Porcentaje de calidad: la variable calidad se convirtió de una escala original, de 1 a 4, definida por la metodología propuesta por Murillo y Badilla (2010), a una escala porcentual, de 1 a 100, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Calidad_{base100} = 100 \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{calidad-1}{3} \right) \right\} \quad (5).$$

Asimismo, se calculó el porcentaje de superioridad, como la diferencia entre la media de cada tratamiento con respecto al tratamiento testigo, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Sup (\%) = 100 \cdot \left( \frac{Media\ del\ tratamiento\ a\ evaluar - Media\ del\ tratamiento\ testigo}{Media\ del\ tratamiento\ testigo} \right) \quad (6)$$

Dónde:

Media del tratamiento a evaluar = T45, T30 o T15

Media del tratamiento testigo= T0

### **Procesamiento de la información**

La información de campo se procesó primero con *Microsoft Excel* (2016) y se construyó una base de datos con valores individuales y promedio por parcela para las variables: diámetro normal (D), altura total (Ht), área basal (G), volumen total (Vt) e ICA para las variables antes citadas. Los ICA y las variables evaluadas en el 2019 se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA) y Prueba de Medias de *Tuckey* ( $\alpha= 0.05$ ) mediante el paquete estadístico *InfoStat*.

## Resultados

El ANOVA muestra diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ) para el ICA de todas las variables (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba de medias (Tuckey al 95 %) y porcentaje de superioridad del ICA por tratamiento en Finca Limbo y Finca Frontera. Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica (2018-2019)

Finca Limbo												
Tratamiento	ICA D		Sup (%)	ICA G		Sup (%)	ICA Ht		Sup (%)	ICA Vt		Sup (%)
T45	2.52	a	33 %	0.0057	a	33 %	2.14	a	3 %	0.0282	a	17 %
T30	2.27	b	20 %	0.0053	a	23 %	2.15	a	3 %	0.0297	a	23 %
T15	2.06	c	9 %	0.0047	b	9 %	1.86	b	-11 %	0.0240	b	-1 %
T0	1.89	c		0.0043	b		2.08	b		0.0242	b	
Promedio	2.185			0.005			2.05			0.0273		
Finca Frontera												
T45	2.65	a	21 %	0.0074	a	30 %	2.75	a	2 %	0.0572	a	23 %
T30	2.64	a	21 %	0.0072	ab	26 %	2.93	a	9 %	0.0572	a	23 %
T15	2.33	b	6 %	0.0063	bc	11 %	2.95	a	10 %	0.0549	a	18 %
T0	2.18	b		0.0057	c		2.69	a		0.0466	b	
Promedio	2.45			0.0067			2.83			0.0540		

ICA D: Incremento corriente anual del diámetro normal medio; ICA G: Incremento corriente anual del área basal media por árbol; ICA Ht: Incremento corriente anual de altura total media; ICA Vt: Incremento corriente anual del volumen total medio por árbol. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

- Finca Limbo:

Los resultados señalan que, para el ICA de las 4 variables evaluadas, los tratamientos T15 y T0 son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a T45 y T30, los cuales presentaron valores superiores. Al respecto, T45 y T30 registraron diferencia estadística entre ellos para el incremento en diámetro, caso contrario para el área basal, altura total y volumen total. Aunque estadísticamente aplicar cualquiera de esos dos tratamientos generaría resultados iguales en Vt, se registra una diferencia en el peso del efecto de cada uno; es decir, superioridad distinta en comparación con T0, la cual es de 23 % y 17 % para T30 y T45, respectivamente.

Además, T45 fue superior a T0 en 33 % para el ICA en D y G y de 3 % para Ht. El T15 y T0 son estadísticamente iguales entre sí, ello a pesar del 9 % de superioridad del primero sobre el segundo en diámetro, lo que puntualiza la diferencia que existe en la práctica entre ambos para el manejo de la masa. Los resultados sugieren una relación directa entre el porcentaje de aclareo y el crecimiento de la masa; es decir, a mayor intensidad (al menos hasta 45 %) mayor es el incremento en diámetro normal y área basal.

La respuesta de la masa remanente en pie a cada tratamiento (Tabla 3) se ratifica y aprecia con mayor claridad en la Figura 3. El crecimiento promedio en área basal acumulado por árbol, hasta un año posterior al aclareo muestra cómo T45 y T30 se separan de T15 y T0, patrón expresado en la prueba de medias; el mismo comportamiento se presentó para el volumen total. Lo anterior sugiere que se podría aplicar indistintamente cualquiera de estas intensidades en la disminución del área basal. Además, se registró una relación de 1:1 entre el ICA promedio en D y Ht, es decir, por cada centímetro de incremento en D se presentó un metro de aumento en Ht.

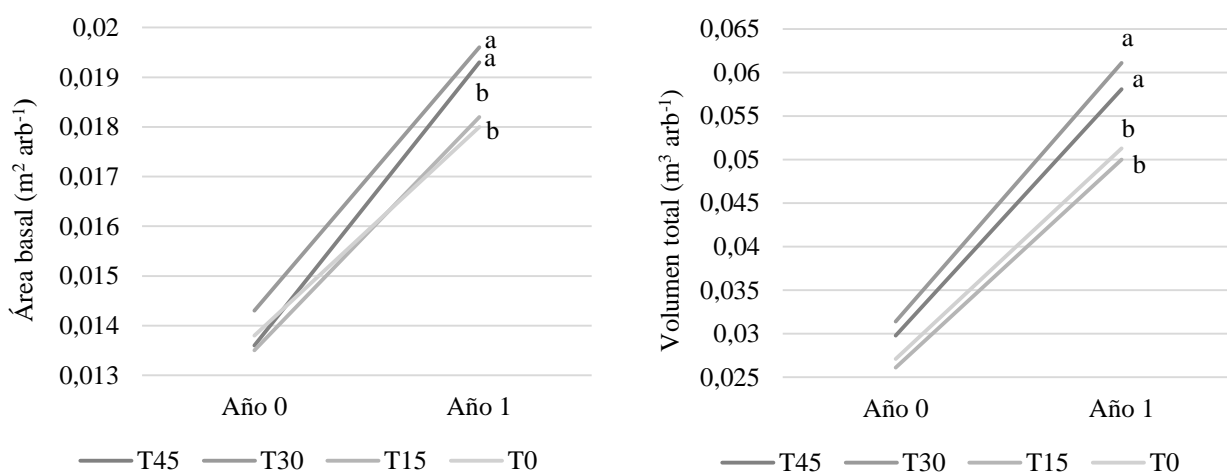


Figura 3. Incremento corriente anual en área basal y volumen total por tratamiento en Finca Limbo, Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.001$ ).

- Finca Frontera:

Los resultados para la variable ICA D muestran que los tratamientos T45 y T30 son estadísticamente iguales entre ellos, pero diferentes de T15 y T0, los dos primeros con valores más altos. No obstante, T15 presentó leve superioridad sobre T0 (6 %) para la misma variable a pesar de ser estadísticamente iguales entre

ellos, situación similar a la presentada en Finca Limbo. Los cuatro tratamientos resultaron estadísticamente iguales en la evaluación del ICA Ht, lo que implicó que solo T0 fuera diferente e inferior a los demás en ICA Vt. A pesar de que T45, T30 y T15 son estadísticamente iguales en ICA Vt, debe destacarse el efecto diferenciador del peso de los dos primeros (23 %) sobre T0.

La reducción del 45 % del área basal inicial provocó una respuesta positiva de la masa remanente en D, G y Vt con 21 %, 30 % y 23 %, respectivamente. Caso contrario, T0 registró los resultados menos deseables para las 4 variables estudiadas.

En Finca Frontera (Figura 4), la pendiente de la curva de crecimiento de la masa en G del T0 es la menor, lo que se confirma con los resultados de la prueba de medias (Tabla 3). La curva de crecimiento del ICA en Vt muestra una pendiente muy similar entre el T45, T30 o T15. Lo anterior podría sugerir que, si se aplica cualquiera de estas intensidades, estadísticamente se obtendrán los mismos resultados; no obstante, la diferencia en cuanto a los recursos necesarios para aplicar cada uno de esos tratamientos es considerable. Esta cifra aumentará al considerar aspectos como el volumen por hectárea, el rendimiento de las trozas (diámetros y forma) además del precio por metro cúbico. Esto repercutirá en la diferencia entre tratamientos en términos absolutos, aunque estadísticamente sean similares.

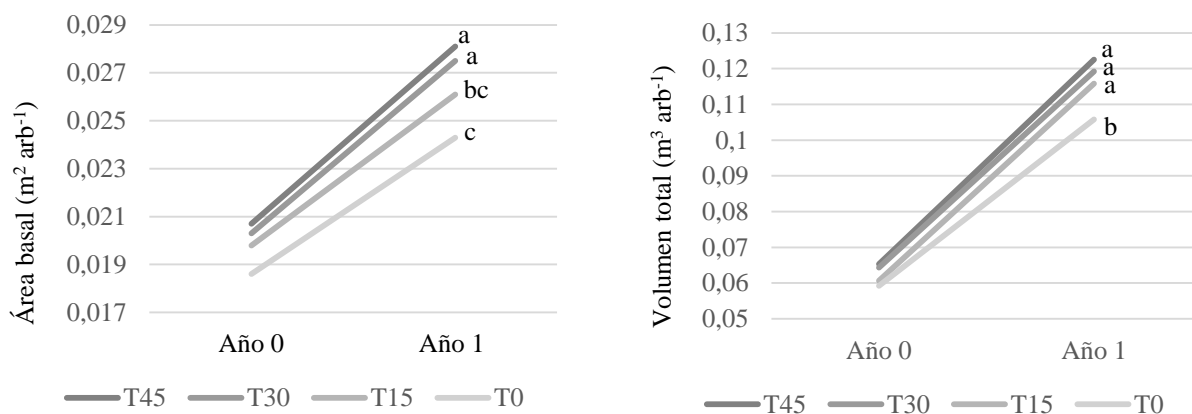


Figura 4. Incremento corriente anual en área basal y volumen total por tratamiento en Finca Frontera, Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.001$ ).

- Comparación entre fincas:

Al contrastar el comportamiento de la masa en pie (Tabla 4), el T45 y T30 ocuparon el primer y segundo lugar para el ICA G y Vt, excepto en Finca Limbo donde se invirtió la posición para Vt, a causa de mayor altura de los árboles en el T30. Por su parte, el ICA en G y Vt de los tratamientos T15 y T0 en ambas fincas ocupan el tercer y cuarto lugar, respectivamente, excepto para Vt en Finca Limbo en donde se invierte.

Tabla 4. Comparación del ICA entre fincas y tratamientos para área basal y volumen total, en Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

Área basal		Volumen total	
Finca Limbo	Finca Frontera	Finca Limbo	Finca Frontera
Tratamientos		Tratamientos	
T45	— T45	T30	× T45
T30	— T30	T45	× T30
T15	— T15	T0	× T15
T0	— T0	T15	× T0

El volumen antes de aplicar los tratamientos registró valores entre 22 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T0) y 24 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T45) en Finca Limbo y entre 48 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T0) y 53 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T45) en Finca Frontera (Tabla 5), un año después mantiene la misma tendencia; Finca Frontera supera en más del doble a Finca Limbo.

Tabla 5. Volumen total por hectárea para cada tratamiento en Finca Limbo y Finca Frontera. Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

Tratamiento	Finca Limbo		Finca Frontera	
	Año 0	Año 1	Año 0	Año 1
T45	24.32	26.08 b	53.28	54.98 b
T30	25.62	34.90 b	52.47	68.09 ab
T15	21.30	34.68 a	49.53	80.32 a
T0	22.11	41.86 a	48.31	86.33 a
<b>Promedio</b>	23.34	34.38	50.90	72.43

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

La variable calidad de los árboles, antes y después de aplicar los tratamientos de reducción en área basal, no evidenció diferencias estadísticas significativas en ambas fincas (Tabla 6), pero existe una ligera mejora con los aclareos más fuertes. En Finca Frontera se registraron valores ligeramente mayores que en Finca

Limbo, tanto previo como después de la aplicación de los tratamientos; no obstante, en ambos casos la calidad fue igual o superior a 90 %. Lo anterior sugiere que, las intensidades de aclareo presentaron un efecto neutro, posiblemente por la buena calidad de los árboles provenientes de material clonal, resaltando así el esfuerzo invertido a nivel país en los distintos programas de mejoramiento para avanzar hacia una silvicultura clonal intensiva.

*Tabla 6. Comportamiento de la variable calidad del fuste en Finca Limbo y Finca Frontera. Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. 2018-2019*

Tratamiento	Finca Limbo		Finca Frontera	
	Calidad (%)	Calidad (%)	Calidad (%)	Calidad (%)
	Año 0	Año 1	Año 0	Año 1
45	92 a	91 a	96 a	100 a
30	93 a	93 a	98 a	99 a
15	91 a	92 a	98 a	98 a
0	90 a	91 a	95 a	98 a

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

## Discusión

El incremento corriente anual registrado en la presente investigación para las variables evaluadas sugiere que, manejar la masa mediante la reducción del área basal, aunque sea una intensidad leve como T15, tiene un efecto benéfico en el desarrollo de los árboles, sobresaliendo el T45 y T30 en las dos fincas (Tabla 3). La misma afirmación la expresaron autores como Budiadi *et al.* (2017), Kumi, Kyereh, Ansong y Asante (2020) y Zhang, Zhou, Huang, Yang, Liu, y Liang (2021), al concluir que la aplicación de aclareos genera un resultado positivo en el incremento basal y volumétrico (madera gruesa), en especial si se aplican intensidades fuertes. Fonseca (2004), Martínez (2015), Dionisio *et al.* (2017) y Kumi *et al.* (2020) explican este efecto, principalmente, por el aprovechamiento de los recursos ambientales que son liberados, como agua, luz y nutrientes.

En concordancia con lo registrado, para autores como Budiadi *et al.* (2017), Proaño (2017), Vacharagkura *et al.* (2017) y Zhang *et al.* (2021), los tratamientos que registraron los valores más deseables en términos de crecimiento de la masa fueron aquellos con intensidades de aclareo mayores a 30 % del área basal

(T45 y T30 del presente estudio). Los mismos autores indican que estas intensidades se diferenciaron estadísticamente de las menores de 30 %, patrón que también se registró en la presente investigación en los resultados obtenidos para T15 y T0. Estas intensidades mayores, a la vez, presentaron diferencias estadísticas con el testigo, caso contrario a lo registrado donde T15 y T0 fueron estadísticamente iguales para todas las variables y en ambas fincas, a excepción de Vt en Finca Frontera (Tabla 3). Lo anterior sugiere que aplicar una intensidad de aclareo leve tendría un resultado muy similar sobre la masa en pie que no hacerlo. Chávez y Fonseca (2003) señalan que aclareos leves pierden su eficiencia porque no proveen el espacio necesario para un crecimiento vigoroso de los árboles remanentes, lo que debe tomarse en cuenta para justificar ese tipo de intervenciones.

En el presente estudio se debe tener en cuenta que se trata de la evaluación realizada un año posterior al aclareo, lo que puede considerarse tiempo insuficiente para asegurar resultados concluyentes. Lo mismo señalan León y Martín (2014) al no registrar diferencias estadísticas entre tratamientos de reducción de área basal (0 %, 15 %, 20 % y 30 %) para D, Ht y Vt a los 6 meses de aplicados los tratamientos de aclareo y poda, pero registran cifras levemente mayores para las variables en las parcelas a las que se les aplicó el aclareo. Necesariamente se le debe dar seguimiento en el tiempo al ensayo para registrar el verdadero efecto de los tratamientos.

El desarrollo en altura total, teca es afectado por la competencia por luz, vinculada al espacio, al ser una especie heliófita (León y Martín 2014; Zahabu *et al.* 2015). De la misma manera, Chaves (2017) apunta que la expresión genética de la altura en clones de teca está relacionada al factor densidad. Es decir, en los tratamientos de bajo porcentaje de aclareo o que carezcan de este (T15 y T0, respectivamente para la presente investigación) los árboles tendrán mayor altura que en aquellos que proporcionan mayor espacio entre individuos (Martínez 2015; Zahabu *et al.* 2015; Chaves, 2017; Vacharangkura *et al.* 2017). Lo expresado por dichos autores no concuerda con los resultados generados en este estudio, al registrarse mayores incrementos en Ht en las parcelas con disminución en la cantidad de individuos.

Al respecto, en Finca Limbo las parcelas con mayor reducción de área basal (T45 y T30, es decir, mayor espacio entre los árboles remanentes), presentaron un mejor desarrollo para el ICA en Ht. Por otra parte,

en Finca Frontera, todos los tratamientos de disminución de área basal obtuvieron resultados estadísticamente iguales, lo que sugiere que el manejo de la masa no influyó en esta variable. Lo anterior podría explicarse debido a la susceptibilidad de la variable (Ht) a la calidad del micrositio, edad de la plantación y al corto tiempo entre observaciones que resulta deficiente para tomar algún criterio concluyente (León y Martín, 2014; Zahabu *et al.*, 2015; Dionisio *et al.*, 2017).

Por otra parte, Budiadi *et al.* (2017) agregan que es necesaria la conservación del suelo mediante prácticas como terrazas para evitar la erosión y lixiviación de nutrientes durante la época de lluvias. Esto porque una elevada acidez y la pérdida de C orgánico, N total y Ca disponible pueden afectar e incluso detener el crecimiento en altura (Martínez, 2015). Lo que significa menor cantidad de nutrientes disponibles para la masa en desarrollo. Por lo que, tanto el manejo de la densidad como las prácticas mencionadas anteriormente mostrarán resultados en la calidad del micrositio, factor indispensable para el desarrollo de la variable Ht, es decir, que entre menor sea la cantidad de árboles, también menor sería la competencia por el banco de nutrientes disponibles, en un escenario con este tipo de condiciones.

El hecho de que Finca Frontera no registrara diferencias significativas entre tratamientos, como es el caso de la variable Ht (Tabla 3 y Figura 4) es un comportamiento presentado otras veces en plantaciones de teca. Dionicio *et al.* (2018) señalan que no existieron diferencias significativas para las variables dasométricas evaluadas en su estudio, aunque sí difirieron del testigo. Lo anterior se explica debido a que el periodo de un año puede ser insuficiente para registrar el efecto de los aclareos en el incremento de la masa remanente, los árboles pueden necesitar hasta cuatro años para ampliar su copa y, por ende, la superficie foliar, así como su sistema radicular. Es a partir de esto donde se produciría un aumento significativo en diámetro, es decir, en la estructura horizontal de la masa.

A pesar de que los tratamientos de reducción del área basal tuvieron un efecto significativo sobre el ICA en D y G del desarrollo de Ht entre tratamientos y fincas, tuvo mayor peso en la expresión final del Vt. Lo anterior resulta más evidente en la Finca Frontera, donde una superioridad de T15 sobre T0 considerada como leve (10 %) finalmente los diferencia en su Vt. La importancia de la altura sobre el desarrollo final del volumen de la masa sugiere que, antes de pensar en tratamientos de reducción de área basal, necesariamente deben ser

subsano los factores limitantes que afecten de manera significativa la Ht. Por consiguiente, es necesario que estos se resuelvan para que se exprese el factor hereditario de esta variable.

Respecto al desarrollo del rodal, Martínez (2015) menciona que a los 4 años y un espaciamiento de 3 m x 3 m, la teca en América tropical tendría un crecimiento optimista en diámetro y altura promedio de 10.5 cm y 8.6 m respectivamente, lo que repercutió en un volumen total promedio aproximado a los 16 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Este crecimiento optimista es muy inferior al obtenido en los tratamientos superiores (T45 y T30) hallados en esta investigación que muestran un promedio en diámetro y altura total después del aclareo (4 años) de 15.5 cm y 6.8 m, respectivamente para Finca Limbo y de 18 cm y 9.6 m para Finca Frontera. Lo anterior generó un volumen total promedio de 34.37 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y de 72.43 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Otros estudios realizados en diferentes países con material clonal de teca señalan incrementos (ICA) de 1 a 3.5 cm en diámetro y de 2 a 4 m en altura total promedio entre tratamientos de aclareo (al 0 %, 25 %, 30 %, 40 %, 50 % y 60 % de intensidad) (Budiadi *et al.*, 2017; Proaño, 2017; Vacharangkura *et al.*, 2017). Asimismo, un ICA promedio en volumen por tratamiento entre 0.02 y 0.04 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>, cifras que concuerdan con lo observado en este estudio.

Con respecto al área basal (G), Vacharangkura *et al.* (2017) reportan en una plantación de 6 años un promedio de 0.10 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> y 0.11 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup>, antes y después del aclareo, respectivamente, al aplicar intensidades de aclareo de 0 %, 30 % y 50 %, además de un ICA de 0.011 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup>. De la misma manera, Proaño (2017) registró para las mismas intensidades de aclareo en una plantación de 5 años un promedio de G de 0.05 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> y 0.08 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> antes y después del aclareo (4 y 5 años), respectivamente, lo que se traduce en un ICA de 0.03 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup>. Estos valores concuerdan con los resultados de área basal del presente estudio, a saber, 0.014 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> y 0.019 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> promedio, antes y después del aclareo, respectivamente, con un ICA de 0.005 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> para Finca Limbo y de 0.019 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> y 0.026 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup> para Finca Frontera, antes y después del aclareo, con un ICA 0.006 m<sup>2</sup> arb<sup>-1</sup>.

Los tratamientos T45 y T30 registraron menor volumen total por hectárea que T15 y T0 en ambos ensayos, debido a menor cantidad de individuos. No obstante, el diámetro promedio fue mayor, ubicándolos en categorías diamétricas superiores que los tratamientos T15 y T0. Medeiros, Nogueira de Paiva, Siqueira-

D'Ávila y Garcia-Leite (2018) obtuvieron resultados similares, quienes observaron que a medida que aumentó el área útil para la planta, creció en mayor proporción el diámetro medio y se redujo el área basal por hectárea y el volumen total con corteza. Los mismos autores mencionan que según el objetivo final de la madera, el volumen total utilizable (por árbol) es más importante que el volumen total producido (por hectárea).

Respecto a lo anterior, la respuesta natural de la teca es un crecimiento inicial exponencial, independientemente del distanciamiento de siembra (Fonseca, 2004; Martínez, 2015; Damásio, Rodrigues, Agostini, Rondon, 2015; Medeiros et al., 2018). Sin embargo, al transcurrir el tiempo la ocupación en los tratamientos de menor intensidad de aclareo (T0 y T15) llegará a la capacidad máxima de sitio, por lo que estancará el crecimiento y provocará tasas de mortalidad significativas (Medeiros et al., 2018). Mientras que los árboles en los tratamientos de mayor intensidad de aclareo (T30 y T45), favorecidos por mayor disposición de nutrientes y agua, continuarán incrementando sus dimensiones a través del tiempo y ocupando las categorías diamétricas superiores. Por lo tanto, la ocupación del sitio todavía no ha llegado a la máxima capacidad, lo que genera mayores rendimientos (Damásio et al., 2015; Medeiros et al. 2018).

La situación anterior descrita por Damásio *et al.* (2015). y Medeiros *et al.* (2018) es la que se espera en posteriores evaluaciones de ambos ensayos. Distintos estudios plantean que el crecimiento y la productividad de la plantación de teca clonal aumentará hasta 3 años después del aclareo (Budiadi *et al.*, 2017; Vacharangkura *et al.*, 2017). Los resultados que se generaron en el presente estudio indican que existe una relación directa entre el porcentaje de aclareo y el crecimiento de la masa remanente en términos de árboles individuales, al menos hasta un 45 % de reducción del área basal. Lo anterior en concordancia con lo reportado por Dionisio *et al.* (2018) al señalar que, a medida que aumenta la intensidad del aclareo, incrementa la ganancia en el diámetro y volumen de los árboles remanentes, a pesar de que no exista diferencia estadística significativa entre las intensidades de aclareo. Manejar la masa ofrece el espacio para garantizar un crecimiento superior al registrado para masas no manejadas, independientemente de las intensidades que se utilicen.

Ligado a lo anterior, Da Silva *et al.* (2016) concluyeron que cuanto menor es la abundancia de árboles, mayor fue el diámetro y el volumen para árboles individuales y que cuanto mayor la abundancia, mayor fue el área basal y volumen total por hectárea. Esto hace referencia al objetivo de producción; es decir, si se desea

generar materia prima para productos de alto valor agregado se debe manejar la masa para concentrar el volumen y aumentar la calidad de árboles individuales (León y Martín, 2014), mediante porcentajes de aclareo como T30 o T45, a lo que se llama silvicultura por árbol. Al contrario, si el objetivo es generar biomasa sin mayores exigencias de calidad o dimensiones, se maneja en términos de incrementar el volumen por hectárea (T15 y T0).

La calidad de la masa en pie, se mantuvo similar antes y después del aclareo en ambas fincas y para todos los tratamientos. Lo anterior podría explicarse por el excelente material genético establecido, producto del esfuerzo que distintas organizaciones han realizado en sus programas de mejoramiento. Por este motivo, esta variable no fue susceptible en la selección de la intensidad de aclareo a utilizar para estos genotipos. Es importante destacar que, el personal de campo que aplique la metodología para evaluar la calidad debe entrenarse para lograr la consistencia obtenida en los resultados de la presente investigación, esto porque Vallejos *et al.* (2010) sugiere que su aplicación está asociada con cierta subjetividad por parte del evaluador.

Anteriormente, Fonseca (2004) recomendaba espaciamientos de 3 m x 3 m para el establecimiento de plantaciones de teca, desde luego con el material genético y paquete silvicultural con que se contaba en esa época. Estudios realizados por León y Martín (2014), Da Silva *et al.* (2016) y Medeiros *et al.* (2017), Yadav, Pandey, Chopra, Chauhan, y Singh (2020), apuntan hacia espaciamientos más amplios, es decir, menor número de árboles a establecerse inicialmente por unidad de superficie, con base en una silvicultura clonal intensiva y sitio específico. Al contrastar la información obtenida por dichos estudios y el presente, se puede afirmar que *T. grandis* es poco tolerante a densidades altas y a la falta de luz, así como muy sensible a la competencia de copas, lo que además coincide con lo reportado por Sadono (2019). Por lo tanto, responde bien a aclareos fuertes y se recomiendan espaciamientos amplios para un mayor desarrollo en volumen.

Los resultados del presente estudio y los obtenidos por otros autores, demuestran que las intervenciones fuertes (T45%, T30%) mejoran el incremento en el área basal, y sugieren que fue innecesario el establecimiento inicial de 816 árb ha<sup>-1</sup> en las plantaciones donde se establecieron los ensayos de investigación. Lo anterior porque, a los 3 ó 4 años, como máximo, se debió llevar a cabo una considerable disminución de la cantidad de individuos, producto del manejo del área basal. Por esta razón, los siguientes sistemas de producción de teca

que utilicen el mismo conjunto genético y en condiciones de sitio similares, se podrían establecer con un número de árboles equivalente a los remanentes después de aplicar T45 o T30, es decir, entre 450 y 570 individuos por hectárea, lo que supone un espaciamiento promedio cercano a 4 m x 5 m. Esto generaría mayores rendimientos de la masa, y el aumento de la productividad del sitio, además reduciría los costos de establecimiento y cambiaría por completo el paquete de producción para la especie al presentarse un primer aclareo (posiblemente comercial) a una edad probable de 4 años y con una intensidad cercana a 30 %.

Un último aspecto que se debe tomar en cuenta es que, al tener mayor espacio disponible la teca tiende a aumentar la producción de ramas bajas en el fuste, llamadas epicórmicas (León y Martín, 2014; Martínez, 2015), por lo que se debe llevar a cabo un manejo eficiente de podas en los primeros tres años. Lo anterior para que el árbol desarrolle eficientemente la copa, sin sufrir estrés por la pérdida de área foliar (Biechele, 2021)<sup>2</sup>. De la misma manera, debe darse mayor atención al manejo de arvenses en los primeros años, además de tener precaución al utilizar mayor espacio entre árboles en sitios donde se presenten vientos fuertes, aunque sean eventos ocasionales.

## **Conclusiones**

Se determinó una relación directa entre el grado de intervención y el crecimiento de la masa remanente. En los tratamientos más intensos-fuertes (T45% y T30%), el ICA en diámetro, área basal y volumen total, fue significativamente superior al aclareo leve (T15 %) y el leve fue estadísticamente igual al testigo (T0). Por lo tanto, las intervenciones de baja intensidad tendrían un resultado similar sobre la masa en pie que no intervenirla.

Los tratamientos T45 y T30 registraron menor volumen total por hectárea que T15 y T0 en ambos ensayos; sin embargo, el diámetro promedio fue mayor, ubicándolos en categorías diamétricas superiores que

---

<sup>2</sup> Biechele, T., Director Departamento de Investigación Novelteak Costa Rica S. A., comunicación personal, 22 de marzo de 2021.

para los tratamientos T15 y T0. Es decir que, la intensidad de aclareo se debe definir en función del objetivo de producción, una intensidad baja (leve) busca potenciar el volumen por unidad de superficie, es decir, silvicultura enfocada en volumen por hectárea, mientras que los aclareos fuertes se orientan a concentrar el volumen en árboles de grandes dimensiones para la cosecha final, es decir, una silvicultura enfocada en volumen por árbol.

La calidad de la masa en pie, no se vio influenciada por los tratamientos de aclareo establecidos, los valores registrados se mantuvieron similares antes y después del aclareo, tanto en ambas fincas como para todos los tratamientos.

No registrar diferencias significativas entre tratamientos para la variable Ht, al menos en Finca Frontera, sugiere que una evaluación realizada un año posterior a la aplicación de los aclareos, es tiempo insuficiente para ver resultados concluyentes sobre dicha variable en la masa remanente.

### **Recomendaciones**

Con base en los resultados generados y en función del objetivo de producir materia prima para una industria forestal de productos de alto valor agregado, se recomienda a la empresa utilizar una abundancia inicial de entre 450 y 570 árboles por hectárea, es decir, un espaciamiento promedio de 4 m x 5 m. Lo anterior para sitios con condiciones edafoclimáticas similares y que se establezcan a partir del mismo material genético evaluado en el presente estudio.

En posteriores estudios es recomendable incluir como variable por evaluar la arquitectura de la copa, con énfasis en su ancho, como factor adicional para determinar la abundancia inicial e intensidad de aclareo. Asimismo, se debe dar seguimiento a las mediciones de ambos ensayos para tener más información que permitan concluir con mayor certeza sobre el efecto de los tratamientos de aclareo en el crecimiento de la masa forestal.

### **Agradecimientos**

A Novelteak Costa Rica S. A. y al Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad

Nacional por otorgar el espacio para llevar a cabo esta investigación.

## Referencias

- Bermejo, I.; Canellas, I.; Miguel, A. S. (2004). Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 189 (1), 97-110.
- Briscoe, C. (1995). *Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. Diseminación del cultivo de árboles de uso múltiple (Madeleña)*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 44 p.
- Budiadi, Widiyatno, Ishii. (2017). Response of a Clonal Teak Plantation to thinning and pruning in Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 29(1), 44–53.
- Chaves, M. (2017). *Comportamiento de clones de teca (Tectona grandis Linn. F.) en Costa Rica y Nicaragua (Trabajo de grado, Ingeniería Forestal)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 122 p.
- Chávez, E. y Fonseca, W. (1991). *Tectona grandis, L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple (Madeleña)*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 47 p.
- Da Silva, R.; Vendruscolo, D.; Rocha, J.; Chaves, A.; Souza, H. y Da Motta, A. (2016). Desempenho Silvicultural de *Tectona grandis*, L. f. em Diferentes Espaçamentos em Cáceres, MT. *Floresta y Ambiente*, 23 (3), 397-405.
- Damáσιο, M.; Rodrigues, F.; Agostini, A. F. y Rondon, R. (2015). Desbaste seletivo em um povoamento de *Tectona grandis* implantado em sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta. *Biodiversidade*, 14 (3), 74-83.
- De Camino, R. y Morales, J. (2013). *Las Plantaciones de teca en América Latina: Mitos y Realidades*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 397 (1), 1-392.

- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. (2011). InfoStat, versión 2011, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>.
- Dionisio, L.; Araujo, H.; Correia, R.; Martins, W.; Da Costa, J. y Maciel, F. (2018). Influência do Primeiro Desbaste na Morfometria de *Tectona grandis*, L.f. em Roraima. *Floresta y Ambiente*, 25(1), 1-8.
- Espitia, M.; Murillo, O. y Castillo, C. (2011). Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis*, L.f.) en Córdoba (Colombia). *Colombia forestal*, 14(1), 81-93.
- Fallas, J. (2017). Funciones alométricas, de volumen y de crecimiento para clones de teca (*Tectona grandis*, L.F.) en Costa Rica (Tesis de maestría, Ingeniería Forestal). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 79 p.
- Fonseca, W. (2004). Manual para productores de teca (*Tectona grandis*, L. F.) en Costa Rica. Heredia: Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. 117 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020a). Global Forest Resources Assessment 2020: Key findings. Recuperado de <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020b). The state of the world's forests: Forests, biodiversity and people. Recuperado de <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8642en>.
- Gobierno de la República de Costa Rica. (2007). Decreto n.º 33957: Reforma Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica. San José: Diario Oficial La Gaceta.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2019). Condiciones del tiempo en La Cruz, Guanacaste. Periodo 2010-2019. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/especial/estacionLaCruz.html>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). VI Censo Nacional Agropecuario-2014. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/censos/censo-agropecuario-2014>.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). Encuesta Nacional Agropecuaria. 2017: Cultivos anuales. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/agropecuario>.

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2015). Suelos de Costa Rica: Orden Inseptisol. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1825.PDF>.

Kumi, J.A., Kyereh, B., Ansong, M., Asante, W. (2020). Influence of management practices on stand biomass, carbon stock and soil nutrient variability of teak plantations in a dry semi-deciduous forest in Ghana. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100049>

León, M. y Martín, D. (2014). Management of young teak plantations in Panama-Effect of pruning and thinning (Master thesis). Swedish University of Agricultural Science, Sweden. 102 p.

Martínez, H. (2015). Teca (*Tectona grandis*, L. f.): condiciones para su cultivo Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono. Moravia: Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. 306 p.

Medeiros, R.; Paiva, H.; Leite, H.; Salles, T.; Araujo, C. y Dávila, F. (2017). Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. *Scientia Forestal*, Piracicaba, 45 (116), 705-716.

Microsoft. (2016). Microsoft Office Excel 2016. Versión 16.0. Redmond, Washington, Estados Unidos.

Molina, F. (2017). Comportamiento de clones de teca (*Tectona grandis* Linn.) a los 4,5 años en Upala, Zona norte de Costa Rica (Trabajo de grado, Ingeniería Forestal). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 91 p.

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 Maestría en Ciencias). Universidad Austral de Chile, Valdivia/ CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p.

Mora-Chacón, F., Jerez-Rico, M., Meza-Picado, V., Chinchilla-Mora, O., Chaves-Salas, E. (2022). Modelos

no lineales mixtos para la construcción de curvas de índice de sitio para *Tectona grandis* Linn. en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56 (1), 28-53.

Murillo, O. y Badilla, Y. (2010). Metodología para la evaluación de variables de calidad comercial del fuste. *Agronomía costarricense*, 21 (2), 189-206.

Pérez, D. y Kanninen, M. (2005). Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 210 (1), 425-441.

Pérez, L. y Kanninen, M. (2003). Provisional equations for estimating total and merchantable volume of *Tectona grandis* trees in Costa Rica. *Forest, Trees and Livelihoods*. 13 (1), 345-359.

Proaño, M. y Jiménez, E. (2014). Comparación dasométrica y económica de dos intensidades de raleo en un cultivo de teca (*Tectona grandis*, L.F.), en la zona de Pedro Carbo, provincia del Guayas. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19735/1/Artículo%20Cicyt%20-Ricardo%20Proaño.pdf>.

Quesada, R. (2007). Los bosques de Costa Rica. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 16 p.

Rivera, M. (2015). Análisis de la producción maderable de teca (*Tectona grandis* Linn. F.) en plantaciones y sistemas agroforestales en Hojancha, Costa Rica y bases para el desarrollo de un plan de incidencia política para promover su cultivo (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 149 p.

Sadono, R. (2019). Effects of competition on the crown width allometry for dominant trees on good sites of vegetative clonal teak (*Tectona grandis* Linn. f.) in Java, Indonesia. *Journal Manajemen Hutan Tropika*, 25 (2), 104-114.

Tamarit-Urías, J.C., De los Santos- Posadas, H.M., Aldrete, A., Valdez-Lazalde, J.A., Ramírez-Maldonado, H., Guerra-De la Cruz, V. (2013). Sistema de cubicación para árboles individuales de *Tectona grandis* L. F. Mediante funciones compatibles de ahusamiento-volumen. *Revista Mexicana de Ciencias*

*Forestales*, 5 (21), 58-74.

Vacharangkura, T.; Himmapan, W.; Noda, I. y Yoneda, R. (2017). Effects of first thinning on growth and stem form of Teak plantations in Thailand. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Working Report, 85 (1), 24-35.

Vallejos Barra, O. S. (1996). Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis*, L.f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq), Dugand y *Gmelina arborea* Roxb, en Costa Rica (Tesis Magíster Scientiae). C. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 168 p.

Yadav, R., Pandey, SBS., Chopra, R., Chauhan, K., Singh, B. (2020). Economics of teak (*Tectona grandis* L.F.) plantation with different spacing and organic inputs in Semi arid region of Rajasthan. *Journal of Pharmacy and Phytochemistry*, 9 (5), 3272-3275. Doi: <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i5at.12848>

Zahabu, E.; Raphael, T.; Chamshama, S. A. O.; Iddi, S. y Malimbwi, R. E. (2015). Effect of Spacing Regimes on Growth, Yield, and Wood Properties of *Tectona grandis* at Longuza Forest Plantation, Tanzania. *International Journal of Forestry Research*, 1, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/469760>

Zhang, Q., Zhou, Z., Huang, G., Yang, G., Liu, G., Liang, K. (2021). Efectos de la calidad del aclareo en la calidad del suelo y el crecimiento del bosque de teca. DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.000000