

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Forestal

**Fertilización con boro y análisis genéticos de los
ensayos de teca (*Tectona grandis* L.f) de MLR Forestal,
Siuna, RAAN, Nicaragua.**

Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería Forestal

Jonnathan Loría Maroto

Cartago, Mayo. 2017





Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Forestal

**Fertilización con boro y análisis genéticos de los
ensayos de teca (*Tectona grandis* L.f) de MLR Forestal,
Siuna, RAAN, Nicaragua.**

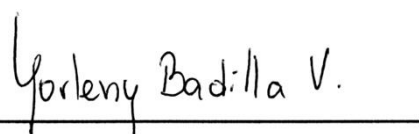
Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería Forestal

Jonnathan Loría Maroto

Cartago, Mayo. 2017

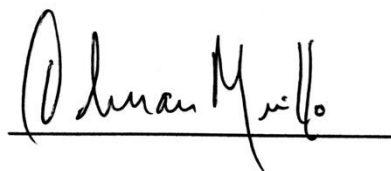
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Trabajo Final de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador integrado por los profesores Ing. Olman Murillo Gamboa, Ph. D, Ing. Mario Guevara Bonilla M. Sc., y Ing. Yorlenny Badilla Valverde, M. Sc., como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Yorlenny Badilla Valverde M. Sc.

Profesor Tutor



Ing. Olman Murillo Gamboa Ph. D

Lector

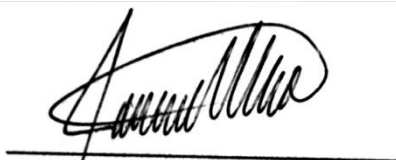


Ing. Mario Guevara Bonilla. M. Sc.

Lector



Lic. Dorian Carvajal Vanegas.
Coordinador Trabajo de Graduación



Johnathan Loría Maroto

Estudiante

Dedicatoria

El trabajo realizado se lo dedico a mi madre que se encuentra en el cielo y que siempre quiso que su hijo menor, y el más consentido (mi persona), se graduará del TEC. Cuando logré entrar a la institución, recuerdo que fue la persona más feliz, inclusive más que mi persona, por el logro de haber ingresado a tan prestigiosa institución. Madre mía, este trabajo es para vos.

También se lo dedico a mi familia: a mi padre por todo el apoyo emocional y económico en estos años. Sin él, no habría sido posible lograr este sueño. A mis hermanos por estar ahí siempre dándome las fuerzas necesarias. Y a mi tía Luz y a mi prima Sandra por prepararme la comida y ayudarme en mis tiempos de estudio.



Agradecimientos

A la empresa MLR Forestal de Nicaragua S.A. por todas las oportunidades que me dieron de hacer mi trabajo final de graduación y por todas las facilidades brindadas. A Don Carlos Domke y a Juan Pablo Quiroz, Gerente General y Gerente de Operaciones por la confianza que me dieron en la empresa.

Al Dr. Olmán Murillo Gamboa y a la M. Sc. Yorleny Badilla Valverde por darme su confianza y de referirme a la empresa MLR para realizar el presente trabajo.

Al Profesor Dorian Carvajal, por pensar en mí como la persona idónea para realizar este tema para mi trabajo final de graduación.

A todo el personal de la Escuela de Ingeniería Forestal del TEC, por sus años de apoyo durante mi estancia en la academia.

Al resto del personal de la empresa MLR por hacer más cómoda mi estancia en Nicaragua y hacerme sentir como un hermano más.

Índice General

Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Índice General	vi
Índice de Figuras	vii
Índice de Cuadros	viii
Capítulo 1	1
Artículo Científico	1
Resumen	2
Abstract:	3
Introducción	4
Materiales y Métodos:	5
Resultados	10
Discusión	17
Conclusiones	19
Recomendaciones	19
Agradecimientos	19
Referencias	20
Capítulo 2	23
Artículo Científico	23
Resumen:	24
Abstract:	25
Introducción	26
Materiales y métodos	27
Resultados	32
Discusión	44
Conclusiones	47
Recomendaciones	47
Agradecimientos	48
Bibliografía	48



Índice de Figuras

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS CLONALES DE TECA, DE LA EMPRESA MLF FORESTAL EN SIUNA, RAAN DE NICARAGUA.....	7
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS BLOQUES DENTRO DEL ENSAYO CLONAL DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F) ESTABLECIDO EN LA EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA, EN SIUNA, RAAN, NICARAGUA. TRATAMIENTO ASIGNADO (DOSIS DE ÁCIDO BÓRICO, T1= TESTIGO = DOSIS 1, T2 = DOSIS 2 Y T3 = DOSIS 3. LAS “X” REPRESENTAN LAS HILERAS DE ÁRBOLES QUE NO FUERON FERTILIZADOS PARA EVITAR EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS (B1: BLOQUE 1, B2: BLOQUE 2,..., B6: BLOQUE 6)	8
FIGURA 3. UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS CLONALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F) EN LA EMPRESA MLF FORESTAL DE NICARAGUA. SIUNA, RAAN. NICARAGUA.....	28
FIGURA 4. RANKING GENÉTICO DEL DAP EN ENSAYOS CLONALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), ARRIBA PLANTADO A 1,5X1,5 M, Y ABAJO PLANTADO A 3X3 M, A LOS 13 MESES DE EDAD, EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.....	35
FIGURA 5. RANKING GENÉTICO DE LA ALTURA TOTAL EN ENSAYOS CLONALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), ARRIBA PLANTADO A 1,5X1,5 M, Y ABAJO PLANTADO A 3X3 M, A LOS 13 MESES DE EDAD, EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	36
FIGURA 6. RANKING GENÉTICO DEL DIÁMETRO (ARRIBA) Y ALTURA TOTAL (ABAJO) DE CLONES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), EVALUADOS EN DOS ESPACIAMIENTOS, A LOS 13 MESES DE EDAD, EMPRESA MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.....	37
FIGURA 7. VARIACIÓN EN LA POSICIÓN DE LOS CLONES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F) EN EL RANKING GENÉTICO DEL DAP (CM), EN LOS ESPACIAMIENTO DE 1,5 X 1,5 M. Y DE 3 X 3M, A LOS 13 MESES DE EDAD, EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.....	39
FIGURA 8. VARIACIÓN EN LA POSICIÓN DE CADA CLON DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F) EN EL RANKING GENÉTICO DE LA ALTURA TOTAL (M), EN LOS ESPACIAMIENTOS DE 1,5 X 1,5M Y 3 X 3M, A LOS 13 MESES DE EDAD, EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.....	40
FIGURA 9. RANKING GENÉTICO DEL DAP Y ALTURA TOTAL DE PROCEDENCIAS DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), EN DOS ENSAYOS CLONALES: A Y B: 1,5X1,5M; C Y D: 3X3M; Y, E Y F: AMBOS SITIOS; A LOS 13 MESES DE EDAD, EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	43



Índice de Cuadros

CUADRO 1. DOSIS DE ÁCIDO BÓRICO UTILIZADOS (KG HA ⁻¹ AÑO ⁻¹) PARA LOS ENSAYOS CLONALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), PARA AMBOS ESPACIAMIENTOS MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	6
CUADRO 2. VARIABLES CUALITATIVAS RELACIONADAS CON DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL FUSTE DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F) Y SU ESTADO FITOSANITARIO, UTILIZADAS POR EL DEPARTAMENTO DE MONITOREO, EMPRESA MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	8
CUADRO 3. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL SUELO. FINCA LA GUABA. EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA. SIUNA. RAAN. NICARAGUA.	10
CUADRO 4. RANKING DEL DIÁMETRO A LA ALTURA DE PECHO (DAP) DE CLONES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), PLANTADO A 1,5X1,5 M, EN RESPUESTA A DOSIS DE BORO (PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS, DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS EN SOMBRA), ESTABLECIDO EN MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA. LOS CUADRANTES DENTRO DE CADA RANKING REPRESENTAN UNA SUBDIVISIÓN DE LOS VALORES EN TRES TERCIOS.	12
CUADRO 5. RANKING DE LA ALTURA TOTAL (HT) DE CLONES DE TECA (TECTONA GRANDIS L. F), PLANTADO A 1,5X1,5 M, EN RESPUESTA A DOSIS DE BORO (PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS, DIFERENCIA SIGNIFICATIVA EN SOMBRA), ESTABLECIDO EN MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA. LOS CUADRANTES DENTRO DE CADA RANKING REPRESENTAN UNA SUBDIVISIÓN DE LOS VALORES EN TRES TERCIOS.	13
CUADRO 6. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL EFECTO DE FERTILIZACIÓN CON BORO EN EL DAP (CM), EN UN ENSAYO CLONAL DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), PLANTADO A 3X3 M, EN LA EMPRESA MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	14
CUADRO 7. EFECTO DE TRES DOSIS DE BORO EN EL DAP (PRUEBA TUKEY, A: 0.05) EN UN ENSAYO CLONAL DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), PLANTADO A 3X3 M, EMPRESA MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	15
CUADRO 8. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE HT (M), EN RESPUESTA A TRES DOSIS DE BORO EN UN ENSAYO CLONAL DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), PLANTADO A 3X3 M, EMPRESA MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	15
CUADRO 9. EFECTOS DE TRES DOSIS DE BORO EN LA ALTURA TOTAL (PRUEBA TUKEY, A: 0.05); EN UN ENSAYO CLONAL DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), PLANTADO A 3X3 M, EMPRESA MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	15
CUADRO 10. RANKING DE LA ALTURA TOTAL EN RESPUESTA A TRES DOSIS DE BORO, (PRUEBA TUKEY, A: 0.05), PLANTADO A 3X3 M, DEL ENSAYO CLONAL DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), EMPRESA MLR FORESTAL DE NICARAGUA, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	16
CUADRO 11. COMPOSICIÓN DE CLONES EN LOS ENSAYOS GENÉTICOS DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F) ESTABLECIDOS EN MLR FORESTAL, SIUNA, RAAN, NICARAGUA.	29
CUADRO 12. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS GENÉTICOS ESTIMADOS POR SELEGEN, PARA EL MODELO DE ENSAYOS CLONALES BAJO UN DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR EN UNA LOCALIDAD (RESENDE, 2007).	29
CUADRO 13. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS POBLACIONALES ESTIMADOS POR SELEGEN, PARA EL MODELO DE ENSAYOS CLONALES BAJO UN DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR, EN VARIAS LOCALIDADES (RESENDE, 2007).	31
CUADRO 14. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS GENÉTICOS POBLACIONALES ESTIMADOS POR SELEGEN, PARA EL MODELO DE ENSAYOS DE POBLACIONES BAJO UN DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR EN UNA LOCALIDAD (RESENDE, 2007).	32
CUADRO 15. PARÁMETROS GENÉTICOS A LOS 13 MESES DE EDAD DE ENSAYOS CLONALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F), ESTABLECIDOS EN DOS ESPACIAMIENTOS EN SIUNA, RAAN DE NICARAGUA.	33



CUADRO 16. PARÁMETROS GENÉTICOS DE PROCEDENCIAS DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F)
EVALUADAS A LOS 13 MESES, EN DOS ENSAYOS CLONALES ESTABLECIDOS BAJO DIFERENTES
ESPACIAMIENTOS EN SIUNA, RAAN, NICARAGUA. 41



Capítulo 1

Artículo Científico

Efecto de la fertilización con boro en dos ensayos clonales de teca (*Tectona grandis* L.f), Siuna, RAAN, Nicaragua.

Efecto de fertilización con Boro en dos ensayos clonales de teca (*Tectona grandis* L.f), MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Jonnathan Loría Maroto ⁽¹⁾

Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar si la fertilización con boro en el suelo, tuvo un efecto sobre el crecimiento en diámetro y altura total de árboles de teca a 13 meses de edad en una plantación forestal ubicada en Siuna, RAAN, Nicaragua. Se aplicó como tratamientos en un ensayo factorial, 2 dosis de boro y un testigo, en dos ensayos locales de la empresa plantados a 3x3 m y a 1,5x1,5 m cada uno. Se determinó por medio de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, que en el ensayo de 1,5x1,5 m (alta densidad), el boro tuvo un efecto negativo en el crecimiento de los árboles probablemente explicado por el efecto confundido con la alta competencia entre los árboles, a la baja presencia natural del boro en el suelo y también, a que en teca, el boro es un elemento que se encuentra en poca y/o baja concentración. En el ensayo establecido a 3x3 m, se obtuvo del ANOVA, que hubo un efecto significativo y positivo con la aplicación de boro, donde la dosis de 12 g/árbol fue la mejor. Mientras que con relación a la altura total del árbol las dosis de 6g y 12g/árbol, promovieron un crecimiento superior significativo con relación al tratamiento testigo. Es importante continuar con las mediciones de ambos ensayos para determinar el efecto residual de la aplicación del boro en el tiempo.

Palabras Clave: Suelos, boro, *Tectona grandis*, silvicultura clonal, Nicaragua

Abstract:

The aim of this study is to determine if fertilization with boron in the soil, has an effect on growth in diameter and height in teak tree at 13 months of age in plantations located at Siuna, RAAN, Nicaragua. Boron doses was applied at factorial design: 2 doses and a control, at two clonal test owned by the company, trees were planted at 3x3 m and 1,5x1,5 m each one. It was determined by a Kruskal Wallis non-parametric test, at 1,5x1,5 m place (high density), boron has a negative effect on growth trees because: confused effect with high competitions between trees, low natural abundance of boron at soils, and, boron on teak has a little/low-concentration element. At 3x3 m test, through ANOVA test, it was found an effect positive of boron's doses: where 12 g/tree was better. While total height, doses of 6 g and 12 g/tree, promoted a significant superior growth in relation to the control. It is very important, to continue the measurements of both test, to determine the residual effect of boron application over time.

Key words: Soils, boron, *Tectona grandis*, clonal forestry, Nicaragua.

Introducción.

La productividad de las plantaciones forestales comerciales se logra mediante tres pilares: manejo de la plantación, manejo de suelo y la selección genética. Dentro del manejo de la plantación, o sea, la etapa silvícola, se pueden realizar aplicaciones de enmiendas o fertilizaciones al suelo, de los elementos limitantes para el crecimiento de los árboles. En relación con aspectos químicos y nutricionales, la fertilización es el de mayor relevancia. Esta consiste en la acción de adición de nutrimentos a los cultivos para cubrir sus necesidades fisiológicas. (FAO, 2002).

Entre los objetivos básicos de usar fertilizantes en cultivos está la de obtener una adecuada producción que cubra los costos económicos y que la planta pueda expresar el mayor potencial productivo (Kass, 1998). Todo cultivo necesita mejorar su productividad, que se logrará entre varias opciones, mediante la adición de nutrientes limitantes en el suelo. Dicha práctica de fertilizar los cultivos, empezó por investigaciones en el campo agrícola. Alvarado (2012), menciona que la cantidad de nutrimentos absorbidos para la teca depende del requerimiento de la planta para cada elemento; además, los requerimientos podrían variar con la edad del árbol.

La teca (*Tectona grandis* L.f) es una especie arbórea latifoliada de gran importancia mundial por la calidad de su madera para consumo, con un mercado mundial muy amplio. Gracias a sus buenas propiedades físicas y mecánicas, como durabilidad, densidad, belleza visual y alta trabajabilidad, su madera permite que sea utilizada en múltiples productos (Bhat, 2000; Rivero & Moya, 2006).

A nivel mundial, en el comercio de madera, la teca registra el 2% de la producción total (Kollert & Cherubini, 2012). En los últimos años, el suministro proveniente de bosques naturales de la especie se ha reducido, lo que ha fomentado el establecimiento de plantaciones comerciales en casi todas las zonas tropicales del mundo (Pandey & Brown, 2000). La teca es una especie propicia para el abastecimiento de madera y productos de madera en la sociedad y posee una gran facilidad para su establecimiento en plantaciones (Krishnapillay, 2000).

En los últimos años, se ha tratado de aumentar la calidad de las plantaciones de teca, tanto a nivel regional como mundial, por medio del mejoramiento genético. Dentro de algunas características genéticas sobresalientes que se ha buscado están el rápido crecimiento, resistencia a enfermedades, resistencia al viento, tolerancia a suelos marginales (Murillo, Wright, Monteuis, & Montenegro, 2013).

Arias (2012), afirmó que los suelos tropicales son muy heterogéneos y muestran grandes diferencias entre ellos por sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Además, señala a otros factores abióticos como el clima, cobertura vegetal existente y factores antrópicos como causa de sus diferencias. Los nutrientes son los elementos químicos esenciales para las plantas, o sea,

sin los cuales no podría vivir; estos se dividen en macronutrientes, los que las plantas ocupan en mayor cantidad y son: N, P, K, Mg y S; y los micronutrientes, los que las plantas ocupan en menor cantidad: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl y Mo (Prado, 2014).

Dentro de los elementos del suelo más importantes se ha reportado al boro, como esencial para el crecimiento celular de tejidos meristemáticos y también en translocación de azúcares y almidones. Es absorbido en condiciones ácidas de suelo, en forma de ácido bórico (H_3BO_3) y en boratos (Kass, 1998). Por lo que una deficiencia dentro de la planta puede afectar la síntesis de proteínas, la tasa de fotosíntesis y el crecimiento en general del individuo (Prado, 2014).

El boro ha sido generalizado como un elemento deficiente dentro de los suelos en alrededor de 80 países en el mundo. Particularmente deficitario en suelos arenosos, suelos ácidos y en sitios con fuertes regímenes de lixiviación por el efecto de la lluvia (Lehto, Ruuhola & Dell, 2010). Otro factor importante que puede influir en su disponibilidad en el suelo es el bajo contenido de materia orgánica y/o con baja tasa de descomposición (Prado, 2014).

La mayoría de los estudios sobre nutrición en teca se han centrado en la acción de los macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). Trabajos como los de Abod & Siddiqui (2002) en Asia; Thiele (2008) en Costa Rica, Balám, Gómez, Vargas, Aldrete, & Obrador (2015) en México pueden ser mencionados. En el caso de micronutrientes en teca no se conocen reportes a la fecha en plantaciones jóvenes de teca. Fernández, Alvarado, San Miguel, y Marchamalo (2014), encontraron en plantaciones de 10 años en Costa Rica y Panamá, contenidos de concentración foliar en boro de $19,62 \text{ mg kg}^{-1}$. Los mismos autores determinaron que de 1 kg ha^{-1} de boro acumulado en el suelo, $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$ fue exportado hacia el fuste y la corteza en árboles de 19 años. Otros trabajos, en China (Zhou, Liang, Xu, Zhang, Huang, & Ma, 2012), encontraron que la fertilización con diferentes tratamientos con boro, calcio y nitrógeno, las aplicaciones que contenían boro, no tuvieron un efecto en el crecimiento en plántulas de teca.

Es por eso que el objetivo general de este trabajo fue determinar el efecto de la acción de dosis de boro en el crecimiento inicial en plantaciones clonales de teca en la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua.

Materiales y Métodos:

Área de estudio. Los ensayos de fertilización se localizan dentro de las plantaciones clonales de teca (Figura 1) de la empresa MLR Forestal de Nicaragua, localizadas en Comunidad Alo Central, 20 km al Suroeste del Municipio de Siuna, Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN), Nicaragua. Las coordenadas del primer ensayo o sitio 1, plantado a $1,5 \times 1,5 \text{ m}$ son $84^\circ 54' 40,45''$ y $13^\circ 37' 29,61''$. Mientras que las del segundo ensayo, plantado a $3 \times 3 \text{ m}$ son $84^\circ 54' 45,34''$ y $13^\circ 37' 30,36''$. Ambos ensayos clonales fueron establecidos en el mes de agosto del 2015.

La finca se ubica dentro la zona de vida, según la clasificación de Holdridge, como Bosque Húmedo Tropical (Toval, 2002). El municipio de Siuna tiene una estación lluviosa de 10 meses, con una precipitación promedio mensual de 3850 mm, y con una temperatura promedio entre los 23 °C y 26,9 °C. La finca presenta un suelo franco-arcilloso (Cruz, 2014). A los sitios no se le hizo ningún manejo mecánico del suelo previo al establecimiento de los ensayos. En ambos ensayos se aplicó 250g/árbol de cal dolomítica antes de la siembra y se realizaron 2 fertilizaciones de 18-46-0 de fosfato diamónico con una dosis de 200 g/árbol durante el primer año. Se le aplicó riego con bomba manual por dos semanas durante la época seca. También, un mes antes de la aplicación del boro, se aplicó 100g/árbol de cal dolomítica para corregir la acidez del suelo y mejorar la absorción del boro.

Diseño experimental: El estudio se realizó aprovechando la existencia de dos ensayos genéticos, plantados a dos espaciamientos (1,5 x 1,5m y 3 x 3m), donde se evalúa una colección de 38 clones y un testigo. El diseño experimental que se utilizó es el de Bloques Completos al Azar con seis repeticiones o bloques en este caso. Se siguió la metodología diseñada y utilizada por GENFORES (Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal) como parte de los programas de mejoramiento genético (Murillo, Obando, Badilla, & Araya, 2001). Ambos ensayos se establecieron simultáneamente y separados por 200m de distancia.

Los tratamientos con Boro consistieron en la aplicación de dos dosis de Ácido Bórico granulado (H_3BO_3) al 99,9% de pureza, como se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Dosis de ácido bórico utilizados ($kg\ ha^{-1}año^{-1}$) para el ensayo clonal de teca (*Tectona grandis* L.f) para ambos espaciamientos, MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Tratamiento	Dosis ensayo de ($kg\ ha^{-1}año^{-1}$)	
	3 x 3 m	1,5 x 1,5 m
T1	0,00	0,00
T2	6,70	26,70
T3	13,30	53,30

Con base en estas dosis a cada planta en el ensayo (N= 1111 plantas) le correspondió 6 gramos para el tratamiento 2 (dosis media) y 12 gramos para el tratamiento 3 (dosis alta). Para cada planta, cada tratamiento se fraccionó en dos aplicaciones, y cada fracción se colocó en un orificio en el suelo a una profundidad de 10 cm opuesto uno del otro ya que es un lugar plano sin pendiente. Los tratamientos se aplicaron en el mes de agosto, durante el período lluvioso de la región. El sitio tuvo un control oportuno, estricto y frecuente de malezas antes y durante todo

tiempo durante el experimento. Los ensayos tenían 10 meses de edad en el momento que se aplicó el boro.

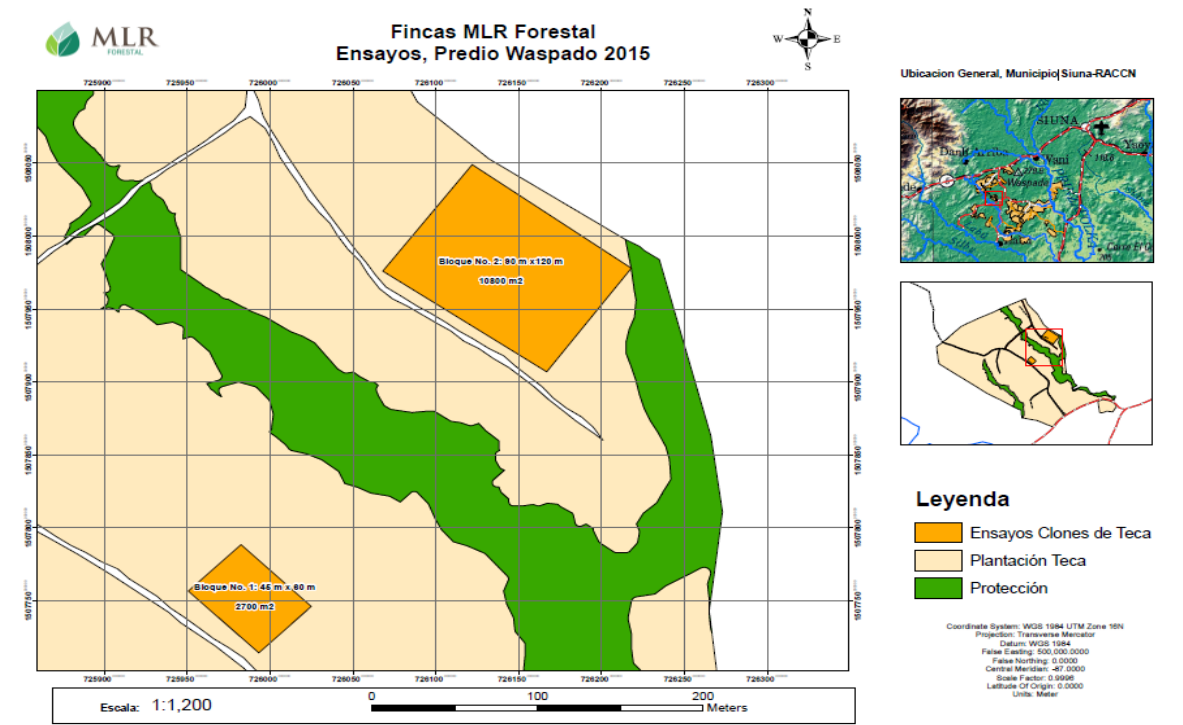


Figura 1. Ubicación de los ensayos clonales de teca, de la Empresa MLF Forestal en Siuna, RAAN de Nicaragua.

El boro es un elemento de fácil lixiviación y podría generarse un efecto residual entre los tratamientos que podría afectar los resultados de los árboles vecinos; es por eso que la aplicación de un tratamiento se realizó sobre todos los árboles dentro del bloque. Para evitar un posible efecto de la dosis en los árboles colindantes entre los bloques, se decidió mantener sin fertilización, una hilera completa de árboles de los árboles colindantes entre bloques como zona de “buffer” o amortiguamiento. En ambos ensayos, en forma aleatoria, se obtuvieron los tratamientos a aplicar: a los bloques 1 y 4 se aplicó el tratamiento 3, a los bloques 2 y 5 el tratamiento 1 y a los bloques 3 y 6, el tratamiento 2. (Ver Figura 2).

	x	x		x	x
B2	x	x	B4	x	x
	x	x		x	x
T1	x	x	T3	x	x
	x	x		x	x
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
	x	x		x	x
B1	x	x	B3	x	x
	x	x		x	x
T3	x	x	T2	x	x
	x	x		x	x

Figura 2. Distribución espacial de los tratamiento dentro del ensayo clonal de teca (*Tectona grandis* L.f) establecido en la empresa MLR Forestal de Nicaragua, en Siuna, RAAN, Nicaragua. Tratamiento asignado (T1= testigo, dosis 1= T2 y dosis 2 y T3 = dosis 3. Las “x” representan las hileras de árboles que no fueron fertilizados para evitar el riesgo de contaminación; B1: bloque 1, B2: bloque 2,..., B6: bloque 6)

Las variables de respuesta evaluadas para ambos ensayos fueron crecimiento por medio del diámetro a la altura de pecho DAP (cm), altura total Ht (m) y número de ramas hasta los 3 m. El DAP se midió con cinta diamétrica y la altura total con un tubo metálico graduado con una cinta métrica. Las variables cualitativas fueron la forma del árbol y estado fitosanitario según la clasificación que utiliza la empresa (Cuadro 2). Las mediciones se realizaron 3 meses después de aplicado el boro.

Cuadro 2. Variables cualitativas relacionadas con descriptores de la calidad del fuste de teca (*Tectona grandis* L.f) y su estado fitosanitario, utilizadas por el departamento de Monitoreo, empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Código	Descripción
D	Dominante
C	Codominante
I	Intermedio
S	Suprimido
E	Enfermos
O	Con plaga
A	Acanalado
Mt	Muerto
Am	Ápice Muerto
Aq	Ápice Quebrado

Q	Árbol Quebrado
Br	Brotos basales
Bf	Bifurcado
In	Inclinados
T	Torcedura basal
S	Árbol Sinuoso
Sm	Árbol no muy Sinuoso
R	Raleado
M	Macheteado
Rb	Rebrote
Rq	Rama quebrada (grande)
Rp	Replante
Mr	Muchas ramas

Análisis estadístico de los datos: Dado que el ensayo de fertilización con boro se estableció sobre un ensayo clonal de teca existente, el análisis de datos se tornó de mayor complejidad. Se tienen entonces tres preguntas fundamentales: 1) ¿hay algún efecto en la aplicación de boro en el crecimiento inicial de clones de teca?, 2) ¿hay diferencias en crecimiento entre los clones de teca en el ensayo?, y 3) ¿hay alguna interacción dosis/clon?, es decir, ¿algún clon en particular responde en crecimiento en forma diferente al grupo frente alguna de las dosis de boro?

Se utilizó un análisis de datos basado en un diseño factorial de 3 dosis de boro x 39 genotipos, para poder verificar si hay diferencias por medio de un Análisis de Varianza y si hay también interacciones entre los factores.

Los datos fueron verificados en relación con los supuestos de normalidad y homocedasticidad para todas las repeticiones. El Análisis de Varianza (ANDEVA) se realizó con el Software Estadístico INFOSTAT (2009). El ensayo con el espaciamiento 3 x 3 m se analizó mediante la prueba ANDEVA que incluyó la prueba múltiple de Tukey para determinar la significancia entre el efecto de las dosis, entre el efecto de los clones y entre el efecto de las interacciones boro-clon. Con el ensayo de alta densidad (1,5x1,5 m) no se cumplieron los supuestos de la regresión por lo que se analizó los datos por medio de la prueba Kruskal-Wallis. El análisis conjunto de los dos ensayos se realizó con la prueba de Kruskal-Wallis.

Resultados

En el Cuadro 3 aparecen los resultados de los análisis químicos del suelo donde se localizan los ensayos.

Cuadro 3. Resultados de los análisis químicos del suelo. Finca La Guaba. Empresa MLR Forestal de Nicaragua. Siuna. RAAN. Nicaragua.

Variable	Unidad	Valor
pH	H ₂ O	6,7
N	%	0,03
P	%	9,7
K	meq/100ml	0,4
Ca	meq/100ml	4,7
Mg	meq/100ml	0,7
Zn	ppm	1
Cu	ppm	0,9
Fe	ppm	54,6
Mn	ppm	13,7
B	ppm	-
M.O	%	0,62
Ca/Mg	meq/100ml	6,71
Mg/K	meq/100ml	1,75
Ca+Mg/K	meq/100ml	13,5

En el ensayo de alta densidad (1,5 x 1,5 m) se determinó que si hubo diferencias significativas en el crecimiento de los árboles en relación a la aplicación de las tres dosis de ácido bórico. En la prueba de Kruskal Wallis, respecto a la variable diámetro a la altura de pecho, se obtuvo: (H (2): 25,11, p: <0,0001) con una media de 4,55 cm para el tratamiento 3; 4,67 cm para el tratamiento 2 y 4,90 cm para el tratamiento testigo. Por lo que el boro tuvo en efecto inversamente proporcional en el crecimiento del DAP. La misma prueba, para la altura total, (H (2): 25,75, p: <0,0001), las medias fueron de 4,43 cm para el tratamiento 2 (dosis media); 4,52 para el tratamiento 3 (dosis alta) y nuevamente 4,91 para el tratamiento 1 o testigo. Puede entonces observarse que al igual que con el diámetro, todas las plantas que no recibieron boro (dosis 1) exhibieron el mayor crecimiento.

Según la prueba de Kruskal Wallis, para las variables diámetro a la altura de pecho y altura total, determinó que si existe una interacción altamente significativa entre las tres dosis y la respuesta de los genotipos (H (2)= 292,74, p=<0,0001) para el DAP y (H (2) = 220,94, p: <0,0001) para la altura total. El ranking de crecimiento de los clones para cada dosis de boros se muestra en los Cuadros 4 y 5.

En el Cuadro 4, aparece con sombra gris oscuro en la parte superior, los clones que registraron una diferencia significativa en crecimiento con respecto al resto de los materiales evaluados (prueba Kruskal-Wallis). Sin embargo, un análisis simple puede hacerse también al subdividir la población en tercios. Se toma el intervalo entre el valor mayor y el valor menor y se divide entre tres (ver los tres tercios enmarcados dentro de cada ranking). Aquí puede fácilmente observarse si un genotipo cambia de posición entre las dosis. Si el cambio ocurre entre dos tercios próximos puede no ser una diferencia significativa. Pero si la magnitud del cambio es mayor, es decir, ocurre desde un primer tercio al tercer tercio o viceversa, si puede haber evidencia de un comportamiento inestable. Con base en este análisis, los resultados del DAP muestran un comportamiento que se puede agrupar en cuatro patrones diferentes:

- a) Clones que no exhiben ningún efecto en el tratamiento (estables en el ranking, ejemplos: DR, 16PA, 30, 49X, 2M, 26PA, 5M, 2 y 1M).
- b) Clones con una respuesta positiva a la dosis de boro (35E, 37C). Interacción simple Dosis x Genotipo.
- c) Clones con una respuesta negativa al tratamiento (BA6, 8X). Interacción simple Dosis x Genotipo.
- d) Clones que exhiben una respuesta positiva o negativa en solamente uno de los tratamientos (Interacción Dosis x Genotipo 30X, 14C, 32, 3 y 3M). Interacción compleja Dosis X genotipo, patrón de alta inestabilidad.

Los clones que exhiben patrones “c” y “d” son los de mayor preocupación a nivel operativo. Los genotipos del patrón “d” registran un patrón que no sigue un comportamiento predecible e implican una interacción de carácter complejo.

Cuadro 4. Ranking del diámetro a la altura de pecho (DAP) de clones de teca (*Tectona grandis* L.f), plantado a 1,5x1,5 m, en respuesta a dosis de boro (Prueba de Kruskal-Wallis, diferencias significativas en sombra), establecido en MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua. Los cuadrantes dentro de cada ranking representan una subdivisión de los valores en tres tercios.

DAP (cm)					
Clon	Boro 0 g	Clon	Boro 6 g	Clon	Boro 12 g
DR	5,57	5M	5,90	5M	5,43
2M	5,30	30X	5,53	DR	5,13
1M	5,29	5X	5,30	37C	4,83
49X	5,18	DR	5,09	4P	4,80
26PA	5,18	32	5,05	BA23	4,60
BA14	5,04	22X	5,05	26PA	4,57
3M	4,98	26E	5,04	2M	4,57
5M	4,91	49X	4,94	26E	4,56
4C	4,90	T	4,93	3	4,56
T	4,87	1M	4,82	3M	4,55
30C	4,86	4P	4,77	BA11	4,54
BA6	4,86	14C	4,74	21PA	4,53
53	4,80	8X	4,67	31E	4,50
32	4,80	2M	4,60	11C	4,47
8X	4,80	BA15	4,57	49X	4,45
22E	4,70	BA11	4,56	30C	4,45
3	4,70	35E	4,55	22E	4,43
BA11	4,69	BA6	4,48	1M	4,35
BA23	4,69	4	4,45	T	4,28
BA15	4,68	26PA	4,43	4	4,27
5X	4,66	37C	4,42	BA14	4,26
11C	4,65	4C	4,39	22X	4,23
30X	4,65	11C	4,34	2	4,20
4P	4,58	BA14	4,33	4C	4,20
4	4,47	30C	4,32	30	4,20
26E	4,47	2	4,30	25PA	4,20
22X	4,44	BA23	4,25	5X	4,18
21PA	4,43	21PA	4,06	23P	4,13
30	4,40	23P	3,93	35E	4,10
21E	4,38	21E	3,90	16PA	4,10
31E	4,33	22E	3,88	BA15	4,07
14C	4,30	53	3,70	21E	4,07
16PA	4,23	3	3,58	20PA	4,03
37C	4,17	30	3,50	53	3,97
23P	4,10	16PA	3,40	32	3,70
2	3,92	31E	3,20	BA6	3,70
20PA	3,68	3M	2,60	8X	3,63

35E	2,80	20PA	30X	3,40
25PA		25PA	14C	3,30

En el Cuadro 5 se muestra el ranking en crecimiento en altura de los clones según la dosis de aplicación de boro. Puede observarse un comportamiento similar al mencionado con el DAP; sin embargo, algunos de los clones mostraron un patrón de respuesta diferente en crecimiento en altura. Por ejemplo, los clones 2M, 26PA y 1M, reportados como estable en DAP, registraron ahora una interacción negativa y descendente en altura con la aplicación del boro. Así también los clones 3M y 3, antes con un comportamiento errático, registran ahora una interacción definida y negativa con el boro. El clon 32 y el 30X responden negativamente pero solamente a la dosis más alta (interacción compleja). El clon BA14 exhibe un patrón claro de menor crecimiento con la aplicación del boro.

Cuadro 5. Ranking de la altura total (Ht) de clones de teca (*Tectona grandis* L. f), plantado a 1,5x1,5 m, en respuesta a dosis de boro (prueba de Kruskal-Wallis, diferencia significativa en sombra), establecido en MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua. Los cuadrantes dentro de cada ranking representan una subdivisión de los valores en tres tercios.

HT (m)					
Clon	Boro 0 g	Clon	Boro 6 g	Clon	Boro 12 g
2M	5,77	5M	5,72	5M	5,46
49X	5,66	32	5,47	21PA	5,21
1M	5,66	49X	5,40	DR	5,19
32	5,64	DR	5,08	37C	5,01
BA14	5,50	35E	5,04	31E	4,89
DR	5,42	22X	5,00	49X	4,89
30C	5,25	26E	4,88	35E	4,78
22E	5,25	30X	4,79	5X	4,77
5X	5,24	5X	4,60	BA11	4,73
BA6	5,20	4	4,59	26E	4,67
11C	5,18	4P	4,55	4	4,58
21PA	5,11	T	4,46	3M	4,48
26PA	4,92	37C	4,36	2M	4,48
5M	4,89	1M	4,32	53	4,44
4C	4,81	4C	4,22	4P	4,39
37C	4,73	BA23	4,22	21E	4,38
8X	4,72	2	4,18	11C	4,34
22X	4,70	BA6	4,11	22E	4,33
3	4,67	22E	4,10	1M	4,33
3M	4,61	14C	4,06	22X	4,31
4	4,56	11C	3,98	23P	4,29
30X	4,55	BA15	3,97	3	4,16
2	4,55	BA14	3,96	26PA	4,14

21E	4,51	21PA	3,91	30	4,12
BA23	4,51	26PA	3,90	2	4,04
14C	4,44	8X	3,83	4C	4,01
4P	4,43	23P	3,77	30C	3,94
BA15	4,27	BA11	3,46	BA23	3,92
26E	4,25	3M	3,40	20PA	3,90
BA14	4,13	3	3,33	BA15	3,85
20PA	4,09	53	3,25	BA14	3,78
31E	4,06	2M	3,23	16PA	3,72
23P	4,04	30C	2,95	BA6	3,69
30	4,01	31E	2,90	8X	3,64
53	3,82	16PA	2,70	32	3,57
16PA	3,73	30	2,70	30X	3,50
T	3,70	21E	2,29	T	3,43
35E	2,02	20PA		14C	3,20
25PA		25PA		25PA	2,90

Se muestra con sombra en la parte superior e inferior del cuadro, los clones con diferencias significativas con respecto al resto del ranking.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados del ANDEVA de las dosis de boro en la colección clonal de teca plantada a 3x3 m. Puede observarse que si hubo diferencias altamente significativas ($p > 0,99$) entre los tres tratamientos (dosis) y entre los clones, no así en la interacción clon x dosis.

Cuadro 6. Análisis de varianza del efecto de fertilización con boro en el DAP (cm), en un ensayo clonal de teca (*Tectona grandis* L.f), plantado a 3x3 m, en la empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Fuente de Variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Modelo	117	15358,77	131,27	2,53	<0,0001
Dosis	2	523,16	261,58	5,03	0,0068
Bloque	1	2605,72	2605,72	50,13	<0,0001
Clon	38	8327,12	219,13	4,22	<0,0001
Dosis*Clon	76	3902,76	51,35	0,99	0,5105
Error	604	31398,12	51,08		
Total	721	46756,89			

En el cuadro 7 se puede observar un comportamiento positivo de la adición de dosis altas de boro en el crecimiento del DAP.

Cuadro 7. Efecto de tres dosis de boro en el DAP (Prueba Tukey, α : 0.05) en un ensayo clonal de teca (*Tectona grandis* L.f), plantado a 3x3 m, empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Tratamiento	Medias	N	E.E.		
1	18,27	249	0,47	A	
2	19,73	235	0,51	A	B
3	20,14	238	0,49		B

En el cuadro 8 se muestra los resultados del ANDEVA de la aplicación de tres dosis de boro, evaluado mediante la variable altura total. Puede observarse que al igual que con el DAP, hubo diferencias entre las dosis y entre los clones, pero también, una interacción levemente significativa dosis x clon ($p > 0,983$)

Cuadro 8. Análisis de varianza para la variable Ht (m), en respuesta a tres dosis de boro en un ensayo clonal de teca (*Tectona grandis* L.f), plantado a 3x3 m, empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Fuente de Variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Modelo	117	13400,01	114,53	3,19	<0,0001
Dosis	2	1241,86	620,93	17,28	<0,0001
Bloque	1	1315,58	1315,58	36,61	<0,0001
Clon	38	6989,27	183,93	5,12	<0,0001
Dosis*Clon	76	3853,30	50,70	1,41	0,0165
Error	604	21704,49	35,93		
Total	721	35104,50			

Los efectos de los tratamientos sobre la altura, se describen en el Cuadro 9, donde los tratamientos 2 y 3 (6 y 12 g/árbol respectivamente) tienen un efecto mayor sobre la altura del árbol, y el tratamiento testigo no tuvo ningún efecto.

Cuadro 9. Efectos de tres dosis de boro en la altura total (Prueba Tukey, α : 0.05); en un ensayo clonal de teca (*Tectona grandis* L.f), plantado a 3x3 m, empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Tratamiento	Medias (m)	N	E.E.		
1	15,36	249	0,39	A	
2	17,51	235	0,43		B
3	18,52	238	0,41		B

Para el efecto de la interacción Dosis x Clon, en la altura total del árbol, se muestra en el Cuadro 10 los valores promedios para cada genotipo y cada dosis.

Cuadro 10. Ranking de la altura total en respuesta a tres dosis de boro, (Prueba Tukey, α : 0.05), plantado a 3x3 m, del ensayo clonal de teca (*Tectona grandis* L.f), empresa MLR Forestal de Nicaragua, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Ht (m)					
Clon	Testigo	Clon	Dosis 6 g	Clon	Dosis 12 g
DR	26,60 CDE	4M	33,87 E	21PA	27,88 DE
T	24,39 ABCDE	DR	25,73 BCDE	DR	27,15 CDE
31E	21,53 ABCDE	2M	22,21 ABCDE	1M	25,14 BCDE
3M	19,98 ABCDE	BA6	22,06 ABCDE	2M	24,99 ABCDE
1M	19,57 ABCDE	T	21,36 ABCDE	5X	23,30 ABCDE
32	18,63 ABCDE	20PA	20,57 ABCDE	3M	23,03 ABCDE
4C	17,92 ABCD	22X	20,37 ABCDE	4	22,42 ABCDE
5X	16,48 ABCD	32	20,04 ABCDE	BA14	22,40 ABCDE
4M	16,45 ABCD	BA23	19,64 ABCDE	BA11	21,75 ABCDE
BA14	16,21 ABCD	2	19,58 ABCDE	5M	20,61 ABCDE
22X	15,84 ABCD	30X	19,36 ABCDE	26PA	20,24 ABCDE
53	15,70 ABCD	1M	19,17 ABCDE	35E	20,06 ABCDE
21E	15,70 ABCD	BA11	18,87 ABCDE	T	20,03 ABCDE
49X	15,70 ABCD	25PA	18,74 ABCDE	49X	19,46 ABCDE
37C	15,64 ABCD	31E	18,30 ABCDE	22E	19,07 ABCDE
5M	15,63 ABCD	26PA	18,27 ABCDE	30C	18,74 ABCDE
8X	15,63 ABCD	30C	18,21 ABCDE	21E	18,70 ABCDE
2	15,42 ABCD	4C	17,86 ABCD	23P	18,60 ABCDE
3	15,33 ABCD	BA14	17,33 ABCD	2	18,42 ABCDE
2M	15,31 ABCD	3M	17,07 ABCD	4C	18,41 ABCDE
BA23	15,29 ABCD	8X	16,87 ABCD	26E	18,27 ABCDE
22E	14,99 ABCD	30	16,69 ABCD	4M	17,60 ABCD
BA6	14,88 ABCD	23P	16,60 ABCD	BA6	16,73 ABCD
30C	14,54 ABCD	4	16,35 ABCD	3	16,72 ABCD
26E	14,20 ABCD	37C	16,15 ABCD	22X	16,48 ABCD
4	14,14 ABCD	3	15,91 ABCD	32	16,36 ABCD
35E	13,91 ABCD	35E	15,81 ABCD	8X	16,12 ABCD
BA11	13,86 ABCD	49X	15,75 ABCD	30X	16,07 ABCD
26PA	13,79 ABCD	11C	15,42 ABCD	20PA	15,99 ABCD
BA15	13,63 ABCD	53	15,08 ABCD	25PA	15,90 ABCD
30	13,58 ABCD	4P	15,02 ABCD	BA15	15,85 ABCD
25PA	13,08 ABCD	5X	14,67 ABCD	16PA	15,44 ABCD
20PA	12,93 ABCD	26E	14,19 ABCD	30	15,42 ABCD
21PA	12,30 ABCD	21E	13,24 ABCD	31E	15,26 ABCD
4P	11,83 ABC	22E	12,86 ABCD	53	14,90 ABCD
11C	10,77 AB	BA15	12,42 ABCD	37C	14,51 ABCD
16PA	10,31 AB	21PA	11,95 ABC	BA23	14,32 ABCD

30X	10,26 AB	5M	10,34 AB	11C	13,39 ABCD
23P	9,20 A	16PA	10,14 AB	4P	12,86 ABCD

Como los resultados del efecto de la fertilización sobre las variables fueron diferentes en ambos ensayos, se unieron las bases de datos de cada espaciamiento, para determinar si la distancia de siembra influía sobre el efecto de la fertilización y las variables analizadas. Se realizó la prueba Kruskal Wallis, ya que no se cumplía con los supuestos del ANDEVA de normalidad de datos. A nivel de tratamiento, para la variable DAP se obtuvo: (H (2): 2,51, p: 0,2867) y para la variable Ht: (H (2): 2,92, p: 0,2327). Como en ambos casos, el valor de p fue mayor que el valor de significancia 0,05, los tratamientos de fertilización no tuvieron un efecto sobre las variables de crecimiento independientemente de la distancia de siembra en cada sitio.

A nivel de distanciamiento de siembra, el resultado de la prueba Kruskal Wallis en los dos sitios, para la variable DAP fue de (H (2): 58,45, p: <0,0001) y para la variable Ht fue de (H (2): 107,11, p: <0,0001). Para la variable DAP, el sitio plantado a 1,5x1,5 m, tuvo un crecimiento significativo mayor de 4,71 cm, en comparación con el sitio plantado a 3x3 m de 4,34 cm. Para la variable altura, el sitio plantado a 3x3 m, tuvo menor crecimiento con 4,08 m y el sitio plantado a 1,5x1,5 m tuvo un crecimiento mayor y significativo de 4,62 m. En ambas variables, se registró un mayor crecimiento promedio en el sitio de mayor densidad de plantación a los 13 meses de edad.

Discusión

A pesar de que los ensayos clonales de teca, utilizados en estos experimentos de fertilización, fueron establecidos con densidades diferentes, a los 13 meses aún no se ha expresado claramente el efecto de la competencia en el crecimiento de los árboles. Es de esperar que el ensayo de mayor densidad (1,5x1,5 m) exhiba mayor altura y menor DAP promedio que el otro ensayo (3x3 m). El efecto de la densidad no participo entonces en el crecimiento de los árboles. Esto permitió realizar un análisis más limpio del efecto del boro en el crecimiento de los árboles.

El efecto en el crecimiento de la teca con la fertilización con boro, mostró un patrón positivo en el ensayo plantado a 3x3 m. Conforme aumento la dosis de boro, aumentó significativamente el crecimiento del DAP y la altura total. Resultados similares en eucaliptos en México de 11 años de edad, fueron encontrados por Rodríguez et al, 2014, con dosis de 6 y 12 g/árbol, la altura y el volumen total fueron mayores, más sobre la biomasa aérea. Mientras que en el ensayo de alta densidad (1,5x1,5 m), la base de datos presentó limitaciones con los postulados de la regresión (normalidad en la distribución de los datos y homocedasticidad), por lo que no se logró realizar un ANOVA, ni determinar con propiedad el resultado de este segundo experimento complementario. Los resultados

del ensayo de dosis de boro en la plantación de alta densidad (1,5x1,5 m) fueron ambiguos y no conducentes a conclusiones.

Con respecto al experimento de dosis de boro en el ensayo plantado a 3x3 m, los resultados también reportan la existencia de una interacción significativa dosis x clon. Puede observarse que los clones DR, 3M y 1M se mantuvieron dentro de las primeras posiciones para todas las dosis, que podrían denominarse como genotipos altamente estables. Algunos clones exhibieron un comportamiento de disminución en su posición en el ranking conforme se incrementó las dosis de boro (T, 31E y BA23). Así también algunos genotipos reaccionaron positivamente con la aplicación del boro (2M, 4 y 21PA). Ambos casos se explican como una interacción de tipo simple o lineal. Algunos pocos clones (4M, 5M y 5X) exhibieron un comportamiento no predecible, al cambiar su posición con la primera dosis, pero volvieron a disminuir con una mayor dosis de boro, lo que se denomina como una interacción de tipo compleja.

El sitio recibió un manejo previo sumamente cuidadoso, que permitió eliminar factoras potenciales que pudieran haber influido en el crecimiento de los árboles. El control riguroso de malezas durante toda la vida de la plantación, por ejemplo, fue una de las prácticas silviculturales con mayor efecto positivo. El sitio también fue encalado previamente y fertilizado dos veces antes de la aplicación de la fertilización con boro. El análisis químico completo del sitio de investigación muestra que el suelo se encontraba con valores un pH de 6,7 la relación Ca/K de 6,7 meq/100ml y la relación Mg/K registran valores de 1,75 meq/100ml. Estos datos respaldan un buen manejo del suelo previo y la reducción de factores limitantes, que garantizaron la realización de un buen experimento de fertilización.

Puede entonces interpretarse que en general, la especie responde positivamente en crecimiento a la aplicación de boro. Sin embargo, al nivel específico de genotipo, algunos de ellos (BA6, 8X) no presentaron ninguna respuesta al boro, mientras que otros genotipos (31E) mostraron una respuesta claramente negativa al boro. Estos resultados son interesantes e implican que algunos genotipos por su constitución fisiológica-genética, necesitan una demanda diferenciada ante la aplicación de boro.

A pesar de existir evidencia general del efecto positivo de fertilizar, dependerá de cuáles clones se utilicen para decidir si aplicar fertilizante. Por ejemplo, si se plantaran solamente los clones DR, 1M y 2M, no habría necesidad de fertilizar con boro, ya que estos clones se mantuvieron en la parte alta del ranking con o sin fertilización. En el otro extremo, si se decidiera utilizar los clones 4P, 11C y 16PA, no se obtendrá ningún efecto positivo en crecimiento de la aplicación de boro y siempre mostrarían resultados pobres. El ejemplo más dramático se obtendrá si se decide utilizar el clon 31E, pues manifestará un comportamiento negativo en el crecimiento si se fertiliza.

Estos resultados obligan a ser muy cuidadoso a la hora de definir un programa general de fertilización con esta especie. O también, a tomar en cuenta el genotipo a la hora de decidir cuáles materiales

plantar en determinada condición de sitio. Estos resultados son pioneros en teca y evidencian la necesidad de evaluar y corroborar el comportamiento específico de los clones, ante cualquier cambio en el paquete tecnológico de la especie.

Conclusiones

- La teca muestra, en general, un efecto positivo en crecimiento si se le fertiliza con boro en dosis desde 6 a 12 g/árbol, plantada a 3x3 m.
- Hay evidencia de un comportamiento diferenciado de clones específicos ante la fertilización con boro. Los clones DR, 1M y 2M, exhiben un alto rendimiento en crecimiento y no les afecta la aplicación de boro. El clon 31E registra un comportamiento en DAP y altura total, inversamente proporcional a la aplicación del boro.
- El sitio 1, plantado a 1,5x1,5 m, muestra los mayores crecimientos de diámetro a la altura de pecho y de altura total de los clones respecto al sitio 2 (plantado a 3x3 m). Sin embargo, todavía no se ha evidenciado un cambio sustancial respecto al sitio 2, en cuanto altura, por el corto tiempo que tienen los ensayos de establecidos.
- En el ensayo clonal de alta densidad (1,5 x 1,5 m), no se registró diferencia en el crecimiento con la aplicación del boro, explicado probablemente por un efecto de mayor competencia por recursos escasos entre los árboles.
- El genotipo del árbol debe considerarse a la hora de aplicar cualquier mejora en el paquete tecnológico en teca.

Recomendaciones

- Continuar investigando el efecto de la fertilización con boro en diferentes concentraciones a las usadas en el presente estudio.
- Registrar el crecimiento de los árboles durante un período de tiempo, para determinar el comportamiento residual de la fertilización con boro en esta especie.

Agradecimientos

Se le agradece a la empresa MLR Forestal de Nicaragua por todo el apoyo brindado durante la realización de esta investigación, como parte del proyecto de tesis en el Tecnológico de Costa Rica. Así también se le agradece a la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal GENFORES, por el apoyo en logística y análisis e interpretación de resultados.

Referencias

- Abod, S.A. & Siddiqui, M.T. (2002). Fertilizer requirements of newly planted Teak (*Tectona grandis*) seedlings. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 25 (2): 121-129
- Alvarado, A. (2012). Nutrición y Fertilización de *Tectona grandis*. En Alvarado, A., Raigosa, J. (eds.) Nutrición y Fertilización forestal en regiones tropicales (pp. 317-344) San José: ACCS.
- Alvarado, A. (2015). Plant Nutrition in Tropical Forestry. En: Pancel, L. & Köhl, M. (eds.) *Tropical Forestry Handbook*. DOI 10.1007/978-3-642-41554-8_105-2
- Arias, A.C. (2012). *Suelos Tropicales*. San José: EUNED. 188 p.
- Ávila, C.; Murillo, R.; Murillo, O. & Sandoval, C. (2015). Desarrollo juvenil de clones de *Gmelina arbórea* Roxb. de dos procedencias, en sitios planos del Pacífico Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 12: 23-35.
- Balám, M.; Gómez, A.; Vargas, J.; Aldrete, A. & Obrador, J. 2015 Fertilización inicial en plantaciones comerciales de Teca (*Tectona grandis* Linn F.) en el sureste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38 (2): 205-212.
- Bhat, KM. (2000). Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Indian plantations. *Bois et Forêt des Tropiques*, 263 (1): 5-29
- Cruz, G. E. (2014). Fertilización inicial en plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* Linn F) Siuna, RAAN. Tesis por optar por el grado de Bachiller en Ingeniería en sistemas de protección agrícola y forestal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Fernández, J.; Alvarado, A.; San Miguel, A. & Marchamalo, M. (2014). Forest nutrition and fertilization in teak (*Tectona grandis* L.f) plantations in Central America. *New Zeland Journal of Forestry Science*. 44 (1), S6.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. FAO / IFA. Roma. 87 p.
- Fonseca, W. (2004). *Manual para productores de Teca (Tectona grandis L.f) en Costa Rica*. SIREFOR, Heredia, Costa Rica.
- INFOSTAT (2008). *Infostat for Windows Version 9.0*. Grupo Infostat. Inc. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina
- Kass, D. (1998). *Fertilidad en Suelos*. San José: EUNED. 272 p.
- Krishnapillay, B. (2000). Silvicultura y ordenación de plantaciones de teca. *Unasylva*. 201, 51
- Kollert, W. & Cherubini, L. (2012). *Teak resources and market assessment 2010*. FAO Planted Forest and Trees Working Paper Series FP/47/E, Rome.

Lehto, T.; Ruuhola, T. & Dell, B. (2010). Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forestry and Management*. 260. 2053-2069. DOI:10.1016/j.foreco.2010.09.028

Millán, J. M & Serrano, J.R. (2004). Evaluación del distanciamiento de siembra y otros factores en el desarrollo de las tensiones de crecimiento para teca (*Tectona grandis* L.f) y pochote (*Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand) en dos plantaciones de Guanacaste, Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)*, 1 (2).

Murillo, O.; Obando, G., Badilla, Y. & Araya, E. (2001). Estrategias de mejoramiento genético para el Programa de Conservación y Mejoramiento Genético de especies forestales del ITCR/FUNDECOR, Costa Rica. *Revista Forestal Latinoamericana* 16(30): 273-285

Murillo, O; Wright, J.; Monteuis, O. & Montenegro, F. (2013). Mejoramiento genético de la teca en América Latina. En: De Camino, R. & Morales, J.P. (eds.). *Las plantaciones de teca en América Latina*. (Serie técnica. Informe técnico No 397). Turrialba: CATIE

Murillo, R.; Alvarado, A. & Verjans, J.M. (2014). Concentración foliar de nutrimentos en plantaciones de Teca en la Cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 38 (1): 11-28

Murillo, R.; Alvarado, A. & Verjans, J.M. (2015). Concentración y Acumulación de nutrimentos en la biomasa aérea de plantaciones de teca de 3 a 18 aos en la Cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 39 (3): 117-136.

Pandey, D. & Brown, C. (2000). La teca: una visión global. *Unasyuva*. 201, 51.

Prado, R. (2014). 500 perguntas e respostas sobre nutrição de plantas. Jaboticabal: FCAV/GENPLANT. 110 p.

Portuguez, E. (2012). Estimación de la extracción de nutrimentos por parte aérea en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) de las empresas Panamerican Woods y C&M Investment Group Ltda., en la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. *Práctica dirigida de licenciatura*, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 72p.

Rivero, J. & Moya, R. (2006). Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. *Kurú: Revista Forestal*. 3 (9)

Rodríguez, M.; Velázquez, A.; Gómez, A.; Aldrete, A. & Domínguez, M. (2014). Fertilización con boro en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake en Tabasco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Ambiente*. 20 (2). Recuperado en: https://www.researchgate.net/publication/270007943_Fertilizacion_con_boro_en_plantaciones_de_Eucalyptus_urophylla_S_T_Blake_en_Tabasco

Thiele, H. (2008) Variables edáficas que afectan el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L. f) en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica. Tesis M. Sc. Universidad de Costa Rica. Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. San José. Costa Rica. 182 p.

Toval, N. (2002). La familia Smilacaceae en Nicaragua. Tesis para optar al título de Licenciado en Biología. UNA. León, Nicaragua.

Zhou, Z.; Liang K.; Xu, D.; Zhang, Y.; Huang, G. & Ma, H. (2012). Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property or acidic soil substrate. *New Forests*. 43: 231-243 DOI: 10.1007/s11056-011-9276-6

Capítulo 2.

Artículo Científico

Posibilidad de selección genética temprana en teca (*Tectona grandis* L.f) mediante ensayos de alta densidad en la empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Posibilidad de selección genética temprana en teca (*Tectona grandis* L.f) en la empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Jonnathan Loría Maroto¹

Resumen:

La teca es una importante especie comercial que se usa en reforestación en todo el mundo. El mejoramiento genético, es una herramienta muy importante en la selección del mejor material en calidad para obtener mayor productividad en las plantaciones. Es por lo que en el presente estudio, se analizó si aumentando la densidad de siembra dentro de las plantaciones, los caracteres genéticos se van a ver influenciados, a manera de reducir tiempos y costos dentro de los análisis genéticos. Mediante los diferentes modelos que utiliza el Software SELEGEN, se estudió si dos ensayos clonales con Diseño de Bloques Completos al azar, el primero sembrado a 3x3 m y el otro sembrado a 1,5x1,5 m, tienen los mismos parámetros genéticos. Se determinó que el diámetro a la altura de pecho (DAP) es la variable que presenta mejor control genético a los 13 meses. La correlación genética entre los ensayos es baja por lo que los rankings no son idénticos. El clon DR es un genotipo élite dentro de la colección, seguidos de los clones 1M, 2M, 5M y 49X. Se presentan interacciones estables dentro de los primeros lugares de cada ensayo al cambiar de distancia de siembra, Las mejores procedencias son las DR, T y Mac. Aun así, es una edad muy temprana para obtener valores genéticos de las variables de los clones y de las procedencias, ya que la competencia entre los árboles no se ha podido expresar en ambos ensayos y las variables medidas no se han podido expresar por completo.

Palabras clave: Mejoramiento Genético, Silvicultura Clonal, Teca, *Tectona grandis*, Nicaragua.

Abstract:

Teak is an important commercial woods-species used for reforestation around the world. Genetics improvement is a very important tool in selection of better material of quality for obtain higher productivity in plantations. The aim of this study is to analyze whether increasing planting density, genetic traits will be influenced, so as to reduce time and costs within genetics analyzes. Using SELEGEN, two clonal test with Randomized Complete Block Design, the first one, planted at 3x3m, and the other one at 1,5x1,5 m, it were determined, the diameter at height of chest (DAP) is the best variable that presents better genetic control at 13months. Genetic correlation between the trials id low so the ranking are no identical. Clon DR is an elite genotype within the collection, followed by clones 1M, 2M, 5M and 49X. Stable interactions are present within the first places of each trial when density plants changes. Best provenances are DR, Mac and Expo. Even so, it is very early age from obtain genetics values of this variables, because competition between trees could not be expressed yet in both test and measured variables could not be expressed completely.

Keywords: Breeding, Clonal Forestry, Teak, *Tectona grandis*, Nicaragua

¹Tecnológico de Costa Rica.

Introducción

La teca (*Tectona grandis* L.f) es una especie tropical de madera de alta calidad, cultivada en el mundo por los usos que se le pueden dar: muebles, estructuras, carpintería, chapas, pisos, entre otros (Keogh, 2013). La introducción de la teca a América Latina se remonta al año 1913, desde donde continuó su desarrollo en la región hasta contabilizar varias rotaciones en algunos países y registrar más de 240 mil ha plantadas en el 2010; con reportes recientes para Nicaragua de más de 7500 ha plantadas (De Camino & Morales, 2013).

No hay registros claros sobre la introducción de la especie en Nicaragua. Keogh (1980) y Murillo, Wright, Monteuis & Montenegro (2013), reportan registros de envíos de semillas de teca desde el Jardín Botánico Summit Garden hacia Trinidad y Tobago entre los años 1937 y 1947. Para Nicaragua, Bolaños y Cajina (2001) citan a algunos autores como Gómez (1981) que indica que fue en 1972 por la misión forestal británica; también se tienen datos, que las plantaciones más antiguas datan de 1964 en el Ingenio San Antonio, comarca el Colorado y el Recreo, en el municipio del Rama (RAAS). Aunque otras fuentes (Rodríguez, 1995) menciona que fue introducida en 1946 por la United Fruit Company; La especie aumenta su importancia económica en la región y sin duda, es hoy día la especie de mayor plantación en el país.

El mejoramiento genético forestal identifica y desarrolla poblaciones genéticamente superiores como fuentes semilleras, con el fin de aumentar la productividad y calidad de los sistemas forestales (Cornelius, 1994). El mejoramiento forestal es un conjunto de acciones que aseguran el abastecimiento de la demanda de germoplasma en cantidad y calidad, la mayor ganancia genética al menor costo posible y en forma permanente (Murillo, 1994).

Una de las maneras de optimizar las ganancias en el corto plazo, es utilizando el mejor material de siembra posible para un rendimiento mayor y de mejor calidad de madera (Goh, Chang, Jilimin & Japarudim, 2007). La selección de los árboles plus debe tener en cuenta los rasgos de crecimiento (diámetro y longitud comercial del fuste), forma del fuste y la mínima cantidad de nudos, entre otros. (Goh, Chaix, Baillères & Monteuis, 2007)

Pedersen, Olesen & Graudal (1993), mencionan las acciones para producir árboles genéticamente deseables en un programa de mejoramiento genético, las cuales van desde la selección de árboles plus, hasta los ensayos de verificación de campo (eliminación de especies, de procedencias, de progenies, entre otros). Chalmers (1962), comenta que probablemente el primer programa de mejoramiento genético se dio en Trinidad y Tobago, realizado por científicos británicos. Se ha determinado el origen de las introducciones de germoplasma de teca, especialmente con marcadores genéticos, usando microsatélites, pero también para determinar la magnitud de la diversidad genética actual y para registrar y/o proteger árboles plus o clones de los programas de

mejoramiento genético forestal (Fofana et al, 2009, Verhaegen et al, 2010, Rojas y Murillo, 2011 y Murillo et al, 2013).

Dentro de la plantación, la densidad de siembra y competencia entre árboles, influyen en el desarrollo de los árboles en factores como el volumen y diámetro a la altura de pecho (muy sensible a la competencia); más no la altura total, ya que ésta se ve afectada en menor grado por la competencia o ambiente de crecimiento (Vallejos, Badilla, Picado & Murillo, 2010). Con base en estos principios se realizó esta investigación con el propósito de determinar si con un aumento en la densidad de plantación, se logra acelerar el patrón de respuesta de los ensayos genéticos. Esto permitiría reducir el tiempo de evaluación de campo y acortar las generaciones de mejoramiento en varios años. La ganancia genética/unidad de tiempo aumentaría considerablemente.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se trabajó con dos ensayos clonales gemelos de teca, establecidos en el mismo sitio a dos densidades diferentes de siembra (1,5x 1,5 m y 3 x 3m). Los ensayos a medir se localizan en finca La Guaba (Figura 3), de la Empresa MLR Forestal de Nicaragua, en la Comunidad Aló Central, 20 km al Suroeste del Municipio de Siuna, Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN), Nicaragua. Las coordenadas del ensayo de 3x3 m son 726150 O y 1508000 N, y las ensayo de 1,5x1,5 m son 726000 O y 1507750 N (Datum WGS84). La finca se ubica dentro la zona de vida, según la clasificación de Holdridge, como Bosque Húmedo Tropical (Toval, 2002). El municipio de Siuna tiene una estación lluviosa de 10 meses, una precipitación promedio mensual de 3850 mm, y una temperatura promedio entre los 23 °C y 26,9 °C. La finca presenta un suelo franco-arcilloso (Cruz, 2014).

Manejo previo del sitio de estudio

No se realizó ningún manejo del suelo previo al establecimiento de los ensayos. En ambos se aplicó 250g/árbol de cal dolomita y 2 fertilizaciones de 18-46-0 (fosfato diamónico) con una dosis de 200 g/árbol durante el primer año. Se le aplicó riego con bomba manual por dos semanas durante la época seca.

Diseño experimental

Los ensayos fueron establecidos bajo un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con seis bloques. Se siguió la metodología diseñada y utilizada por GENFORES (Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal) como parte de los programas de mejoramiento genético (Murillo, Obando, Badilla, & Araya, 2001). Dentro de cada bloque se estableció como unidad experimental o parcela 3 pares de rametos por clon, distribuidos aleatoriamente y separados espacialmente entre

sí. Por tanto, cada clon está representado por 36 rametos en cada uno de los dos ensayos. Ambos ensayos se establecieron simultáneamente y separados por 200m de distancia. El ensayo plantado con un distanciamiento de 3x3 m (sitio 2) y con 38 genotipos más un testigo (semilla mejorada del Centro Agrícola Cantonal de Hojancha, Costa Rica). El segundo ensayo se estableció con un distanciamiento de 1,5x1,5 metros (sitio 1) y evalúa los mismos clones. Los clones evaluados proceden de las colecciones de las empresas miembros de GENFORES, que pueden también ser considerados como poblaciones de mejoramiento. . Las coordenadas del primer ensayo o sitio 1, plantado a 1,5 x 1,5m son 84° 54' 40,45" y 13° 37' 29,61". Mientras que las del segundo ensayo, plantado a 3 x 3m son 84° 54' 45,34" y 13° 37' 30,36"

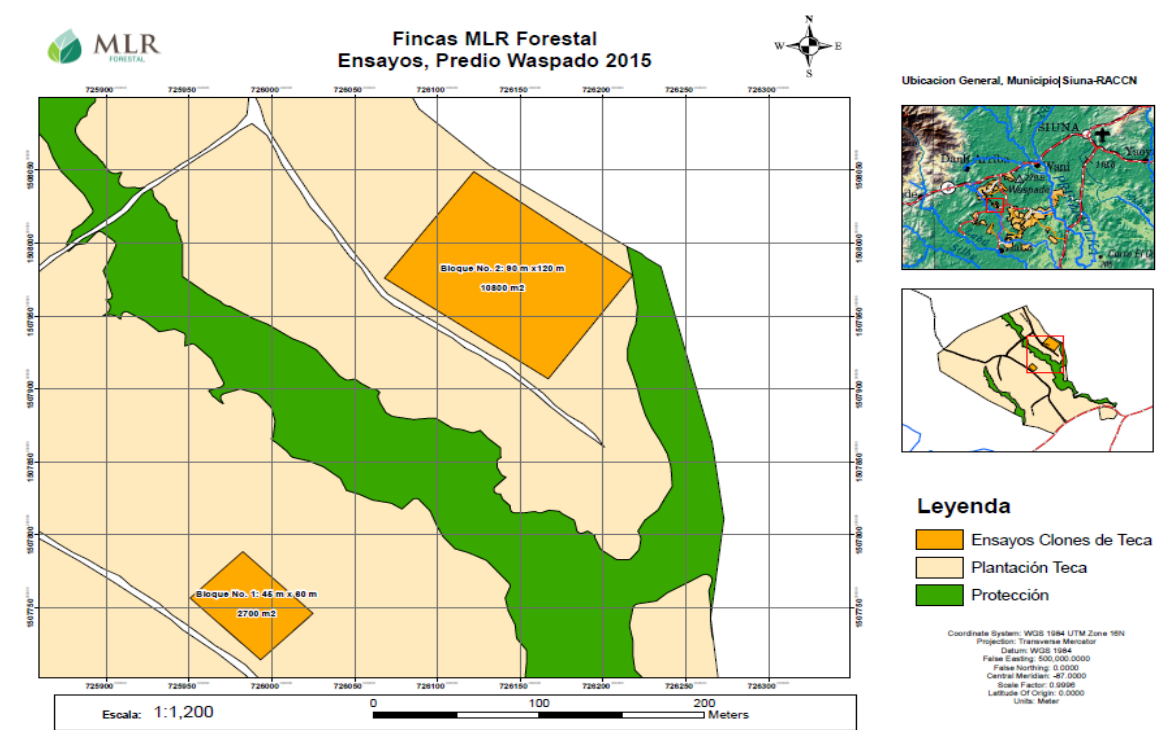


Figura 3. Ubicación de los ensayos clonales de teca (*Tectona grandis* L.f) en la Empresa MLR Forestal de Nicaragua. Siuna, RAAN. Nicaragua.

En el cuadro 11 se muestra la colección de clones de teca y su respectiva procedencia, evaluados en ambos ensayos genéticos.

A los 13 meses de edad se midió el diámetro a la altura de pecho, DAP, (en cm) y la altura total (en m) en todos los individuos de ambos ensayos.

Cuadro 11. Composición de clones en los ensayos genéticos de teca (*Tectona grandis* L.f) establecidos en MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Procedencia	Cantidad de clones	
	3x3	1,5x1,5
BA	5	6
Guana	2	2
Parrita	5	5
Mac	5	5
Eco	5	6
Exp	5	5
Basa	5	5
Upa	6	6
DR	s.d.	s.d.
T	s.d.	s.d.

Análisis Genético:

Las mediciones de campo se organizaron en una base de datos para el análisis genético del desempeño individual de cada clon, así como una segunda base de datos para el análisis colectivo de los clones agrupados por su procedencia o empresa. Los datos fueron analizados mediante el procedimiento estadístico REML/BLUP (Método de Máxima Verosimilitud Restringida/Valor Máximo Predicho de Menor Error, por sus siglas en inglés respectivamente), que forman parte de los procedimientos que ejecuta el software SELEGEN (Resende, Versión 2007, EMBRAPA, Brasil)

El análisis genético al nivel de clones individuales se realizó utilizando el Modelo 2: $y = Xr + Zg + Wp + e$, para ensayos con el diseño experimental Bloques Completos al Azar, con clones no relacionados, varias plantas por parcela, en una sola localidad. Donde “y” es el vector de datos de la variable dependiente, “r” es el vector de los efectos de la repetición (asumidos como fijos) y sumados a la media general, “g” es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios); “p” es el vector de los efectos de parcela (asumidos como aleatorios) y “e” es el vector del término del error o residuos (aleatorio). Los parámetros que estima SELEGEN para el modelo experimental utilizado se describen en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Descripción de los parámetros genéticos estimados por SELEGEN, para el modelo de ensayos clonales bajo un diseño de Bloques Completos al Azar en una localidad (Resende, 2007).

Parámetro	Descripción
Vg	Varianza genotípica. $\sigma_g^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2$
Vparc	Varianza ambiental entre parcelas
Ve	Varianza residual

Vf	Varianza fenotípica individual	$\sigma_y^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2$
h ² g	Heredabilidad individual en el sentido amplio, o sea, de los efectos genotípicos totales.	
h ² aj	Heredabilidad individual en el sentido amplio, ajustada por los efectos de parcela.	
c ² parc	Coeficiente de determinación de los efectos de parcela (peso del componente de varianza ambiental entre bloques. V _{par} dentro del total de la varianza fenotípica.	
h ² mc	Heredabilidad de la media del clon, asumiendo ausencia de pérdida de parcelas.	$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2}$
Acclon	Exactitud de la selección de genotipos, asumiendo ausencia de pérdida de parcelas.	
CVgi%	Coeficiente de variación genotípica. $\left(\frac{CVgi}{Cve}\right)$	
CVe%	Coeficiente de variación residual.	$= \frac{\sqrt{\frac{0,75 * Va + Ve}{3} + Vparc}}{\text{media general}} * 100$
CVr	Coeficiente de variación relativa. CVgi% / Cve%	
PEV	Varianza del error de predicción de los valores genotípicos, asumiendo sobrevivencia completa.	
SEP	Desviación estándar del valor genotípico estimado, asumiendo sobrevivencia completa.	
Media general del experimento	Estimado de la media poblacional para el carácter.	

Los datos de ambos ensayos se organizaron en una nueva base de datos combinada, con el propósito de determinar la existencia de la interacción Genotipo X Ensayo (a partir de un análisis de correlación genética entre los dos ensayos). Esta interacción permite determinar si el ranking genético varía significativamente entre ambos ensayos (densidades de siembra en este caso). El análisis de ambos sitios se realizó mediante el modelo 3 de SELEGEN, que corresponde a un ensayo clonal bajo un diseño de Bloques Completos al Azar en varias localidades, $y = Xr + Zg + Wp + Ti + e$, donde “y” es el vector de datos de la variable dependiente, “r” el vector de efectos de la repetición (asumidos como fijos) sumados a la media general, “g” es el vector de los efectos genotípicos (asumidos como aleatorios), “p” el vector de los efectos de la parcela (asumidos como aleatorios), “i” es el vector de los efectos de la interacción genotipo X ambiente (aleatorios), y “e” el vector del error residual (aleatorios). Los parámetros que estima SELEGEN para el modelo experimental utilizado se describen en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Descripción de los parámetros poblacionales estimados por SELEGEN, para el modelo de ensayos clonales bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, en varias localidades (Resende, 2007).

Parámetro	Descripción
Vg	Varianza genotípica. $\sigma_g^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2$
Vparc	Varianza ambiental entre parcelas (una misma parcela entre bloques)
Vint	Varianza de la interacción genotipo ambiente
Ve	Varianza residual
Vf	Varianza fenotípica total $\sigma_y^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2$
h ² g	Heredabilidad individual en el sentido amplio, o sea, de los efectos genotípicos totales. $h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2}$
c ² parc	Coefficiente de determinación de los efectos de parcela dentro del total de la variación fenotípica.
c ² int	Coefficiente de estimación del peso de los efectos de la interacción genotipo-ambiente dentro del total de la variación fenotípica.
h ² mc	Heredabilidad de la media de genotipo, asumiendo ausencia de pérdida de parcelas.
Acclon	Exactitud de la selección de genotipos, asumiendo ausencia de pérdida de parcelas.
Rgloc	Correlación genotípica entre el desempeño (posición en el ranking) de los clones en los dos ensayos.
PEV	Varianza del error de predicción de los valores genotípicos, asumiendo sobrevivencia completa.
SEP	Desviación estándar del valor genotípico estimado, asumiendo sobrevivencia completa.
CVgi%	Coefficiente de variación genotípica. $= \frac{\sqrt{\frac{0,75 * Va + Ve}{3} + Vparc}}{\text{media general}} * 100$
CVe%	Coefficiente de variación residual.
Media general del experimento	Estimado de la media poblacional para el carácter.

El análisis genético al nivel de procedencias se realizó utilizando el Modelo 24 de SELEGEN, que corresponde a un diseño de Bloques Completos al Azar, entre varias poblaciones, sin estructura de progenie, en una sola localidad: $y = Xr + Zg + Wp + e$, donde “Y” es el vector de datos de la variable dependiente, “r” es el vector de efectos de repetición (asumidos como fijos) sumados a la media

general, “g” es el vector de efectos genotípicos de poblaciones (asumidos como aleatorios), “p” es el vector de efectos de parcela y “e” es el vector de errores residuales (aleatorios). Los parámetros se describen en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Descripción de los parámetros genéticos poblacionales estimados por SELEGEN, para el modelo de ensayos de poblaciones bajo un diseño de Bloques Completos al Azar en una localidad (Resende, 2007).

Fórmula	Parámetro genético
Vg	Varianza genotípica entre poblaciones $\sigma_g^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2$
Vparc	Varianza ambiental entre parcelas
Ve	Varianza residual
Vf	Varianza fenotípica total $\sigma_y^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2$
h ² g	Heredabilidad individual en el sentido amplio, o sea, de los efectos genotípicos totales de las procedencias $h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2}$
c ² parc	Coefficiente de determinación de los efectos de parcela
h ² mp	Heredabilidad de la media de las procedencias, asumiendo ausencia de pérdida de parcelas.
Acclon	Exactitud de la selección de las procedencias, asumiendo ausencia de pérdida de parcelas.
Media general del experimento	Estimado de la media poblacional para el carácter.

Resultados

Análisis individual de los clones

En el cuadro 15 se puede apreciar los parámetros genéticos resultantes de ambos ensayos a los 13 meses de edad. De manera general, no se observó a esta edad, un patrón claro de mayor variación ambiental o genética entre ambas densidades de siembra. Sin embargo, con respecto a las variables de medición, el DAP registró un patrón de menor variación ambiental (CVe%) y valores levemente más altos de heredabilidad individual (h²g), heredabilidad media clonal (h²mc) y exactitud de los parámetros (Acclon), en comparación con la altura total. Los parámetros de la variación entre parcelas (Vparc y c²parc) es un indicador de variación ambiental y claramente exhibe valores inferiores en el DAP en comparación con la altura. Así también, la mayor variación ambiental (CVe%) se registró con la variable altura total. En consecuencia, el coeficiente de variación genética sobre la variación ambiental (CVr) fue claramente superior en el DAP, particularmente en el espaciamiento de alta densidad.

La correlación genética (Rgloc) entre ambos ensayos fue mayor para el DAP que para la altura total, lo que implica una similitud de más de un 78% en el ranking clonal para esta variable, mientras que disminuyó a un 65% de similitud en el ranking clonal basado en la altura.

A pesar de la corta edad de ambos ensayos, la altura total promedio muestra una leve tendencia de mayor crecimiento en altura total en el espaciamiento de alta densidad. En contraste, el DAP no registró aún diferencias visibles entre ambos espaciamientos.

El componente de la varianza (Vint) registró una interacción genotipo x densidad de plantación. Puede observarse que los valores obtenidos para este parámetro son sumamente bajos y corresponden tan solo a un 2.3% en el DAP y un 3,2 % con la altura total, como se expresa en el parámetro c²int.

Cuadro 15. Parámetros genéticos a los 13 meses de edad de ensayos clonales de teca (*Tectona grandis* L.f), establecidos en dos espaciamientos en Siuna, RAAN de Nicaragua.

Parámetros	DAP (cm)			Ht (m)		
	1,5 x 1,5m	3 x 3m	Ambos	1,5 x 1,5m	3 x 3m	Ambos
Vg	0,0733	0,088	0,059	0,0863	0,079	0,051
Vparc	0,0322	0,012	0,021	0,1479	0,019	0,061
Vint *	-	-	0,016	-	-	0,027
Ve	0,4787	0,717	0,596	0,7953	0,583	0,702
Vf	0,584	0,817	0,692	1,029	0,681	0,842
h ² g	0,125	0,108	0,085	0,084	0,116	0,06
h ² aj	0,132	0,109	-	0,098	0,12	-
c ² parc	0,055	0,014	0,03	0,144	0,028	0,073
c ² int *	-	-	0,023	-	-	0,032
h ² mc	0,917	0,903	0,845	0,764	0,895	0,719
Acclon	0,968	0,95	0,919	0,874	0,946	0,848
Rgloc	-	-	0,784			0,653
CVgi%	6,08	6,92	5,57	6,78	6,98	5,41
CVe%	4,48	5,54	3,98	9,24	5,84	6,44

CVr	1,358	1,238	-	0,734	1,195	-
PEV	0,006	0,008	0,009	0,02	0,008	0,014
SEP	0,078	0,092	0,095	0,143	0,091	0,12
Media general	4,452	4,292	4,364	4,333	4,03	4,18

Con el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m (arriba en la figura 4), el ranking genético de la variable DAP tiene el primer lugar el genotipo de DR, seguidos por los genotipos 5M, 1M, 30X, 49X, 2M, 26PA dentro del grupo élite (top) entre los cuales no hay diferencia significativas. Las accesiones 4P y T (semilla testigo), no traslapan sus límites de confianza con el clon DR, a pesar de ubicarse en las posiciones 6 y 7 del ranking, por tanto, no se incluyen en el grupo élite. Importante señalar que el clon 25PA se localiza en la posición 17 del ranking, pero su variación es muy alta y sus límites de confianza si coinciden con los del clon DR, por lo que puede sumarse al grupo élite, que estaría conformado por 8 clones. Mientras que los clones con el peor desarrollo significativo de su DAP fueron el 16PA y el 23P.

Con el espaciamiento de 3x3 m (abajo en la figura 4), la variación diamétrica entre clones fue mucho menor: menos abrupta, con la excepción del clon DR, que registró una diferencia significativa prácticamente con todo el resto de la población. En el ranking, el clon DR registró un comportamiento superior y significativo con relación a todo el resto de clones. Los demás clones muestran un patrón muy semejante, con diferencias no significativas prácticamente entre todos los clones, con excepción de los últimos cuatro clones del ranking que son los 11C, 21PA, 53 y 16PA. Si se analizan ambos ensayos, repiten entre las primeras diez posiciones los clones DR, 1M y 2M.

Sin embargo, si se utiliza el criterio de traslape entre sus límites de confianza, los define como estadísticamente iguales, o sea, los mejores 8 clones del grupo élite en el espaciamiento de 1,5 x 1,5m, coinciden con los mejores 8 clones del espaciamiento 3 x 3m.

Con el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m (arriba figura 5), el ranking genético de la variable altura total, ubica en el primer lugar al clon DR, seguido de los genotipos 49X, 5M, 1M, 5X, 22E, 21PA, 22X, 4 y 3M que conforman el top10. Ahora puede apreciarse que el testigo (T) y los clones 14C, 3, 31E, BA15, 16 PA y el 23P se localizan en posiciones significativamente inferiores.

Con la altura total en el espaciamiento de 3 x 3m (abajo figura 5), el clon DR ocupa nuevamente la primera posición y repiten casi todos los mismos clones en las mejores 10 posiciones, con excepción del clon 5M que se localiza ahora en una posición significativamente inferior (interacción). Así también, repiten con el peor desempeño los clones BA15 y el 16PA. El material testigo (T) y el clon 31E cambian radicalmente su desempeño y se localizan ahora en las primeras posiciones de privilegio (interacción) dentro del ranking.

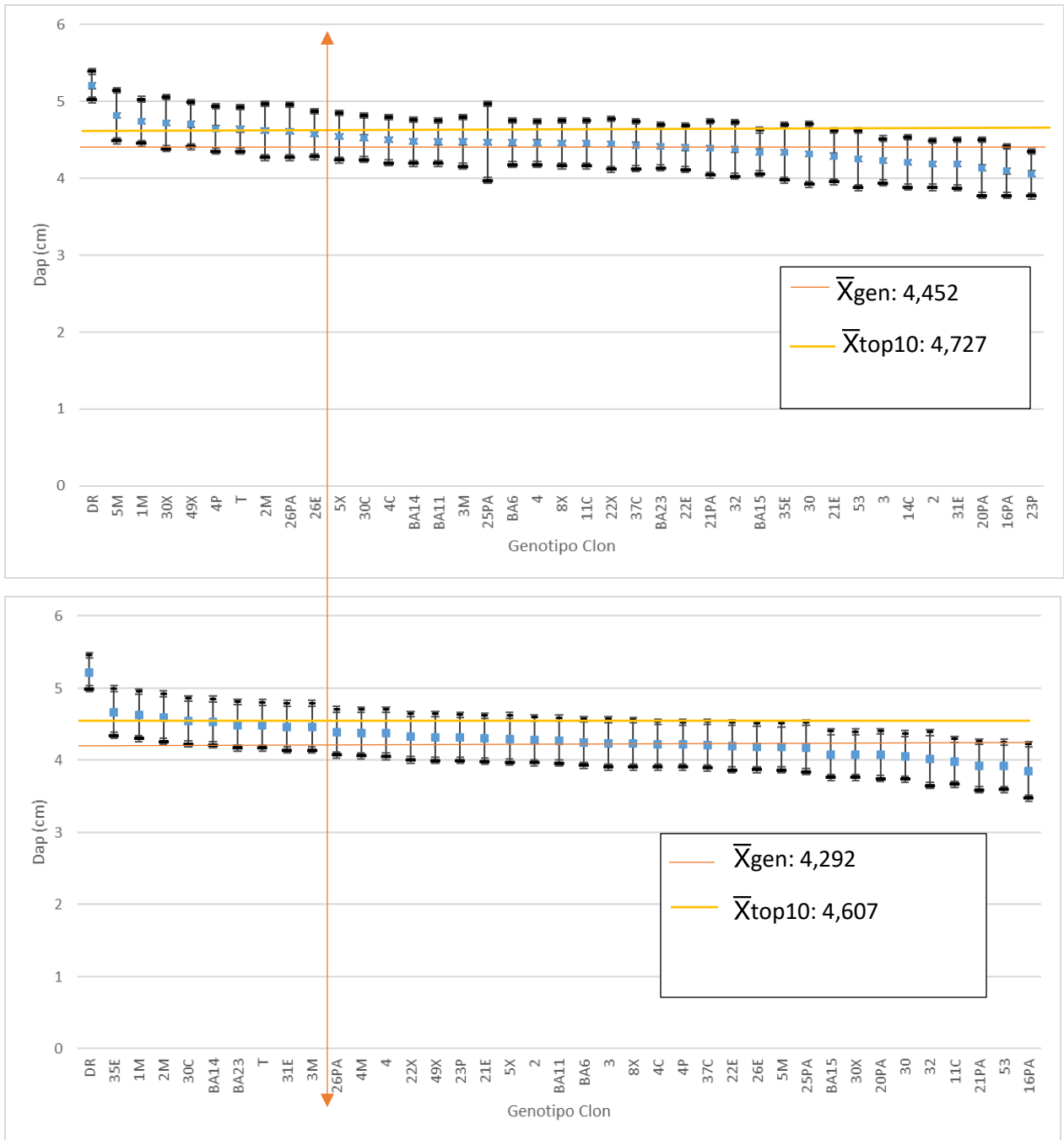


Figura 4. Ranking genético del DAP en ensayos clonales de teca (*Tectona grandis* L.f), arriba plantado a 1,5x1,5 m, y abajo plantado a 3x3 m, a los 13 meses de edad, empresa MLR Forestal de Nicaragua, Siuna, RAAN, Nicaragua.

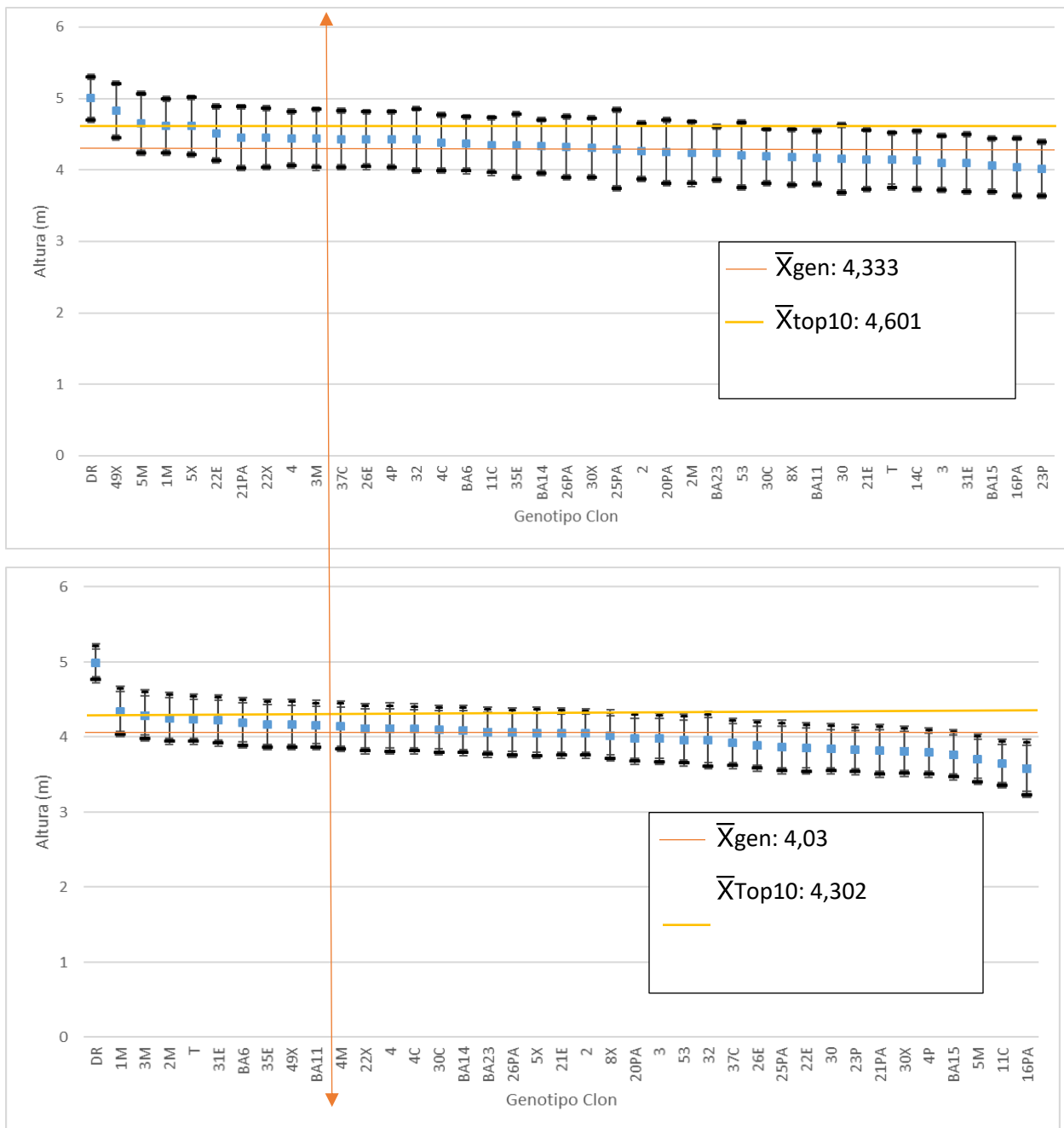


Figura 5. Ranking genético de la altura total en ensayos clonales de teca (*Tectona grandis* L.f), arriba plantado a 1,5x1,5 m, y abajo plantado a 3x3 m, a los 13 meses de edad, empresa MLR Forestal de Nicaragua, Siuna, RAAN, Nicaragua.

En la figura 6 se puede apreciar el comportamiento del ranking conjunto de los dos ensayos. Se observa que los clones DR, 1M, 49X y 35E repiten en las posiciones de privilegio tanto para el DAP como para la altura total. El clon DR claramente se distancia del resto del grupo en ambas variables.

Si se toma en cuenta el criterio de límites de confianza, pueden entonces incluirse entre los 10 mejores clones al 2M, 3M, 4M, 5X, BA14 y 26PA. Mientras que el análisis de los peores clones ubica al 16PA, BA15, 53, 23P, 3, 30, 11C, 14C, 20PA y 25PA en los últimos lugares para ambos caracteres.

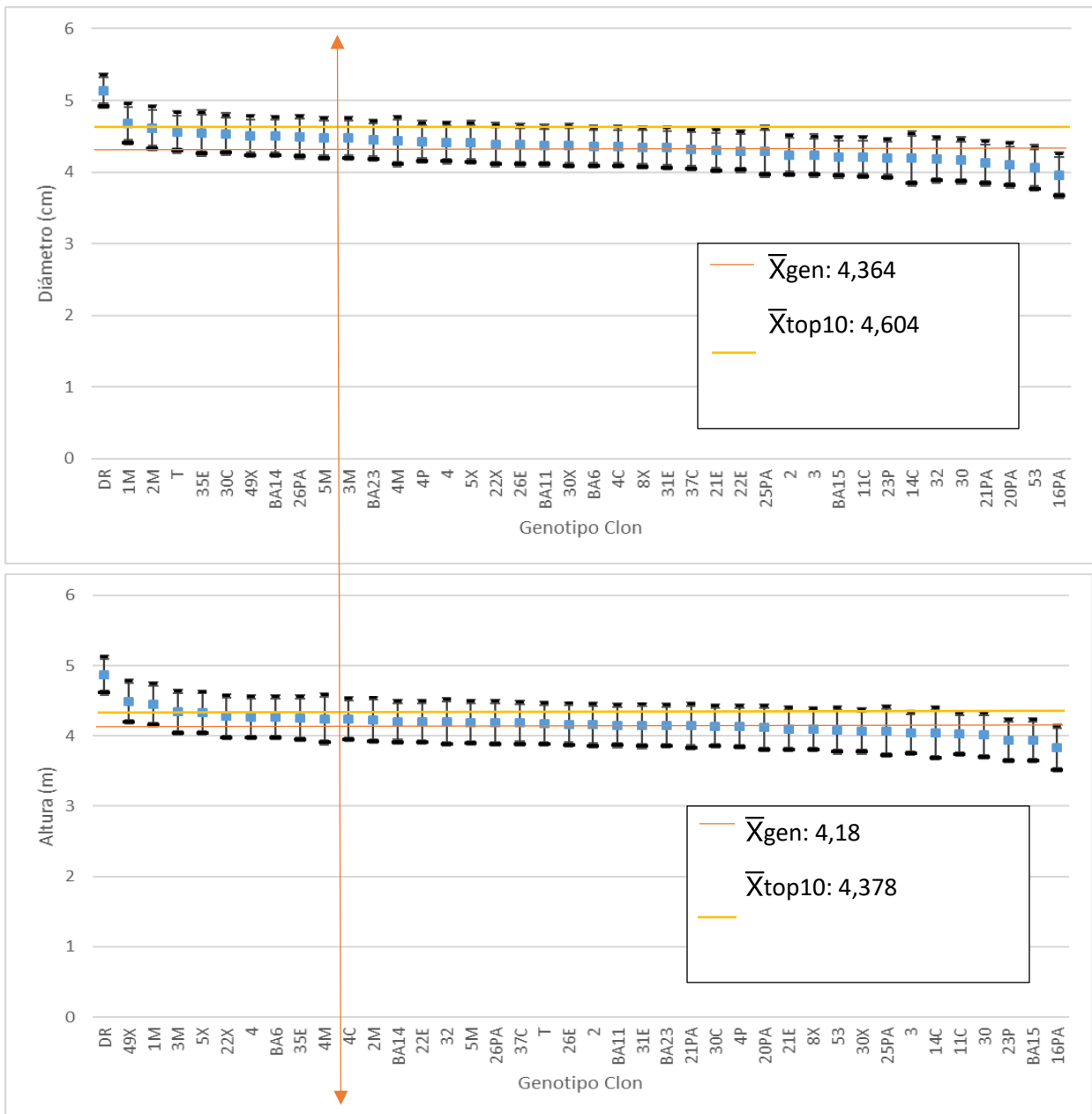


Figura 6. Ranking genético del diámetro (arriba) y altura total (abajo) de clones de teca (*Tectona grandis* L.f), evaluados en dos espaciamientos, a los 13 meses de edad, empresa MLR Forestal, Siuna, RAAN, Nicaragua.

En las figuras 7 y 8 se pueden apreciar gráficamente el comportamiento de los clones en el ranking entre ambos espaciamientos. Los clones fueron agrupados en tres tercios, según su posición en el ranking para facilitar el análisis de posibles interacciones genotipo x espaciamiento. Los clones que se mantienen en el mismo cuadrante se consideran muy estables, los que cambian su posición el

siguiente cuadrante vecino se les considera como una interacción simple y relativamente estables. Mientras que los que cambian significativamente y migran hacia alguno de los cuadrantes extremo, se les considera como inestables y con una interacción compleja con la densidad de plantación. Puede observarse entonces que en el caso del DAP (Figura 7), hubo 10 clones con un comportamiento muy estable, el DR, 1M, 2M, 26PA, 30C, BA14, 3M, 3, 49X, 22X y el material testigo (T). Mientras que el clon 5M exhibe un comportamiento altamente inestable y de interacción compleja, al pasar de la segunda mejor posición en el espaciamiento de alta densidad, al tercio de peor desempeño al plantarse a 3 x 3m.

En la figura 8, se puede observar el comportamiento de la estabilidad de los clones en el ranking basado en su crecimiento en altura total, al comparar las dos densidades de plantación. Nuevamente el clon DR se mantiene muy estable y en la primera posición en ambos casos. Pero ahora con la variable altura total, solamente los 6 clones: 1M, 3M, 49X, 22X, 4 y 5X, se comportan de manera estable en las mejores posiciones.

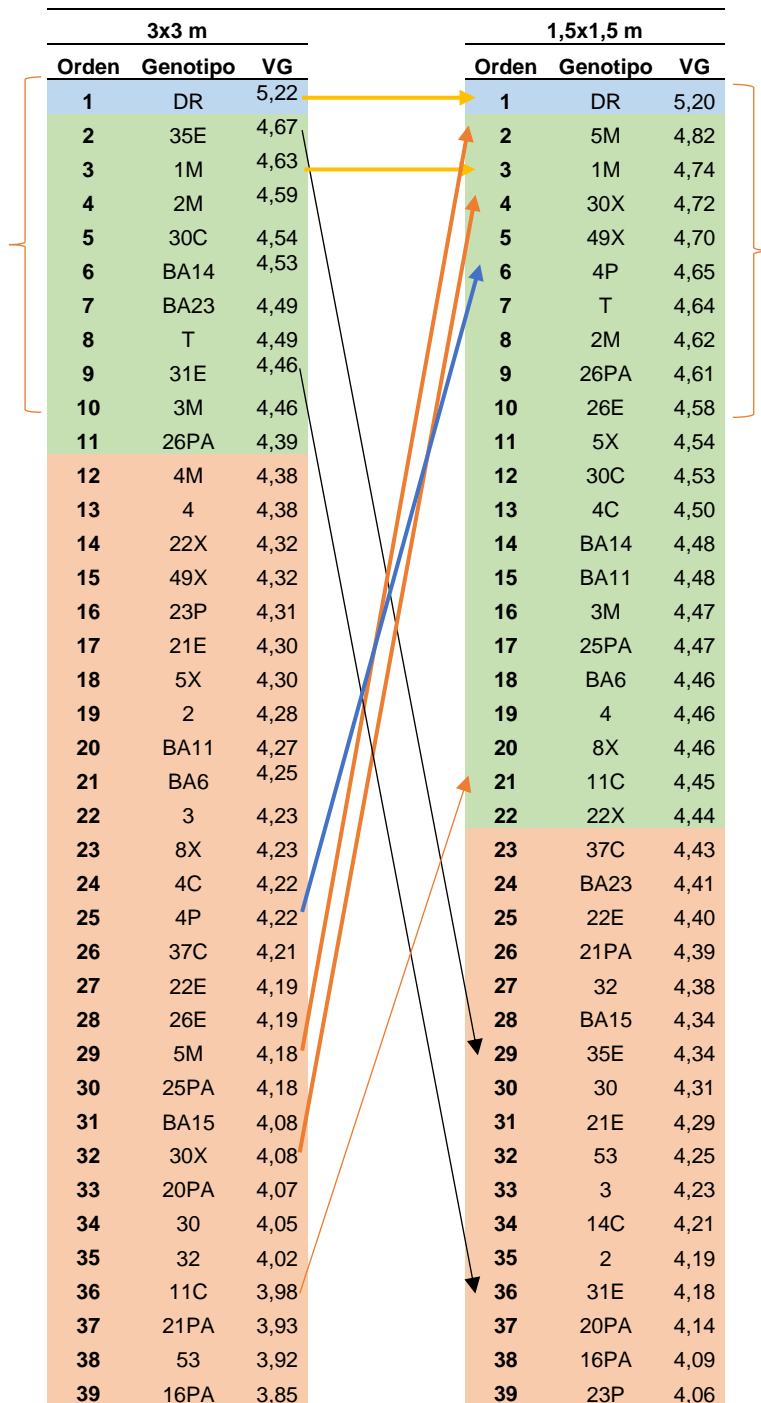


Figura 7. Variación en la posición de los clones de teca (*Tectona grandis* L.f) en el ranking genético del DAP (cm), en los espaciamiento de 1,5 x 1,5 m. y de 3 x 3m, a los 13 meses de edad, empresa MLR Forestal de Nicaragua, Siuna, RAAN, Nicaragua.

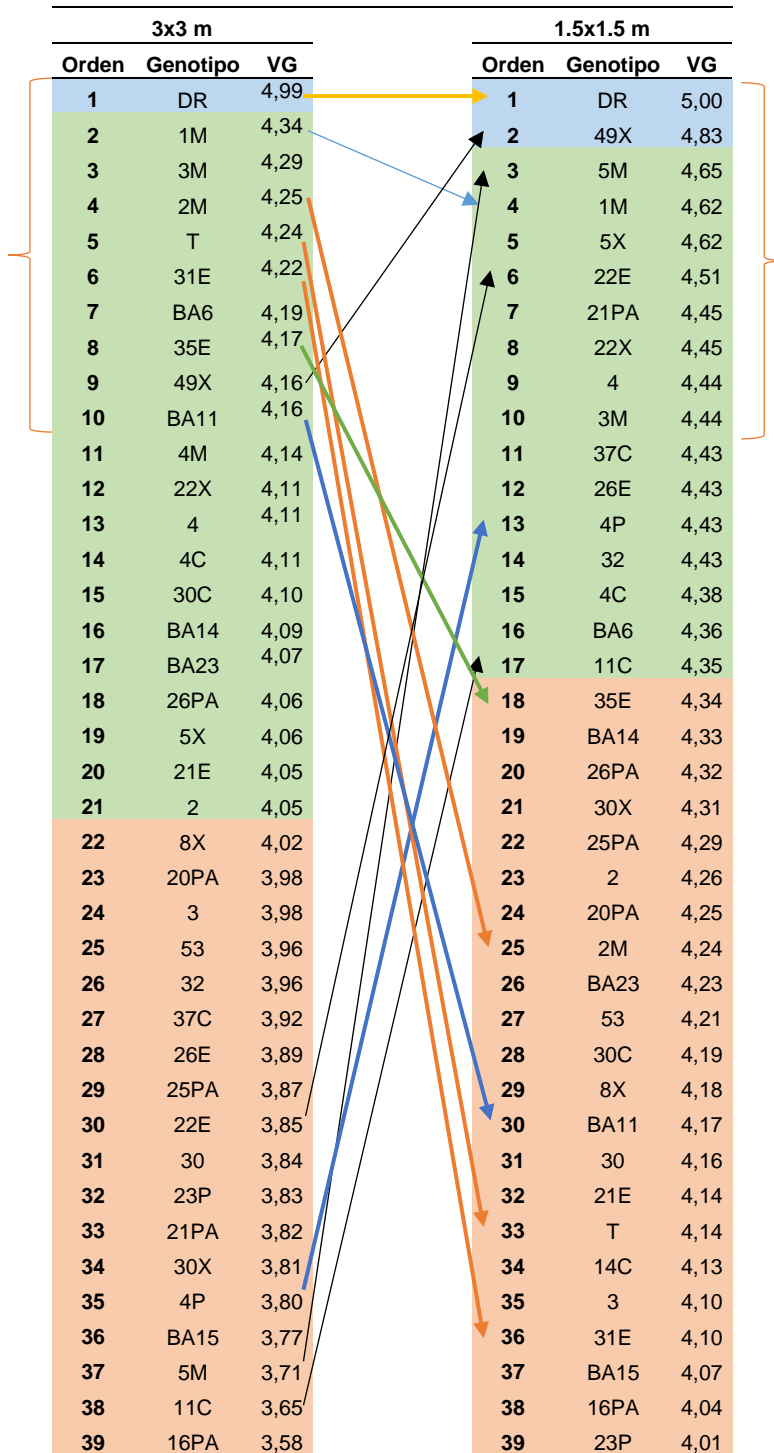


Figura 8. Variación en la posición de cada clon de teca (*Tectona grandis* L.f) en el ranking genético de la altura total (m), en los espaciamientos de 1,5 x 1,5m y 3 x 3m, a los 13 meses de edad, empresa MLR Forestal de Nicaragua, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Análisis de procedencias.

En el cuadro 16 se presentan los resultados de los parámetros genéticos de ambos ensayos (alta y media densidad de siembra) y en ambas variables (DAP y altura total), para los clones agrupados según su procedencia. Puede observarse un patrón general de mayor control genético (menor efecto ambiental) en el ensayo de espaciamiento denso para ambas variables (DAP y altura total). Los valores de la heredabilidad media poblacional del espaciamiento 1,5 x 1,5m superan entre un 7 y un 9,8% a los valores del espaciamiento 3 x 3 m. Así también, el DAP registra un control genético ligeramente mayor que la altura total, que se ve reflejado en valores más altos de la heredabilidad media poblacional y, más bajos en el coeficiente de variación entre parcelas (c^2 parc), que es de carácter ambiental.

En relación con la heredabilidad, los análisis reportan valores sumamente altos para la heredabilidad individual (h^2g) y para la heredabilidad media poblacional (h^2mp) en ambas variables y para ambos espaciamientos.

En cuanto el crecimiento de los árboles, los ensayos a los 13 meses de edad, registran un crecimiento levemente mayor en el espaciamiento denso, en comparación con el espaciamiento de 3 x 3m.

Cuadro 16. Parámetros genéticos de procedencias de teca (*Tectona grandis* L.f) evaluadas a los 13 meses, en dos ensayos clonales establecidos bajo diferentes espaciamientos en Siuna, RAAN, Nicaragua.

Parámetros	Diámetro			Altura total		
	1,5 x 1,5m	3 x 3m	Ambos	1,5 x 1,5m	3 x 3m	Ambos
Vg	0,104	0,123	0,108	0,123	0,137	0,114
Vparc	0,004	0,037	0,02	0,019	0,029	0,025
Ve	0,512	0,726	0,618	0,912	0,601	0,761
Vf	0,621	0,887	0,745	1,053	0,768	0,901
h^2g	0,168	0,139	0,114	0,117	0,178	0,127
c^2 parc	0,007	0,042	0,027	0,018	0,039	0,028
h^2mp	0,981	0,916	0,977	0,957	0,937	0,974
Acproc	0,99	0,957	0,989	0,978	0,968	0,987
Media general	4,53	4,39	4,46	4,39	4,12	4,24

En la figura 9, se muestra el ranking de las procedencias de los clones evaluados, que siguen un mismo patrón general, donde el clon individual DR supera significativamente a la mayoría de las poblaciones evaluadas, tanto en DAP como en altura total. Entre las procedencias restantes no hay evidencia de diferencias significativas entre ellas tal y como se observa con el traslape entre sus límites de confianza.

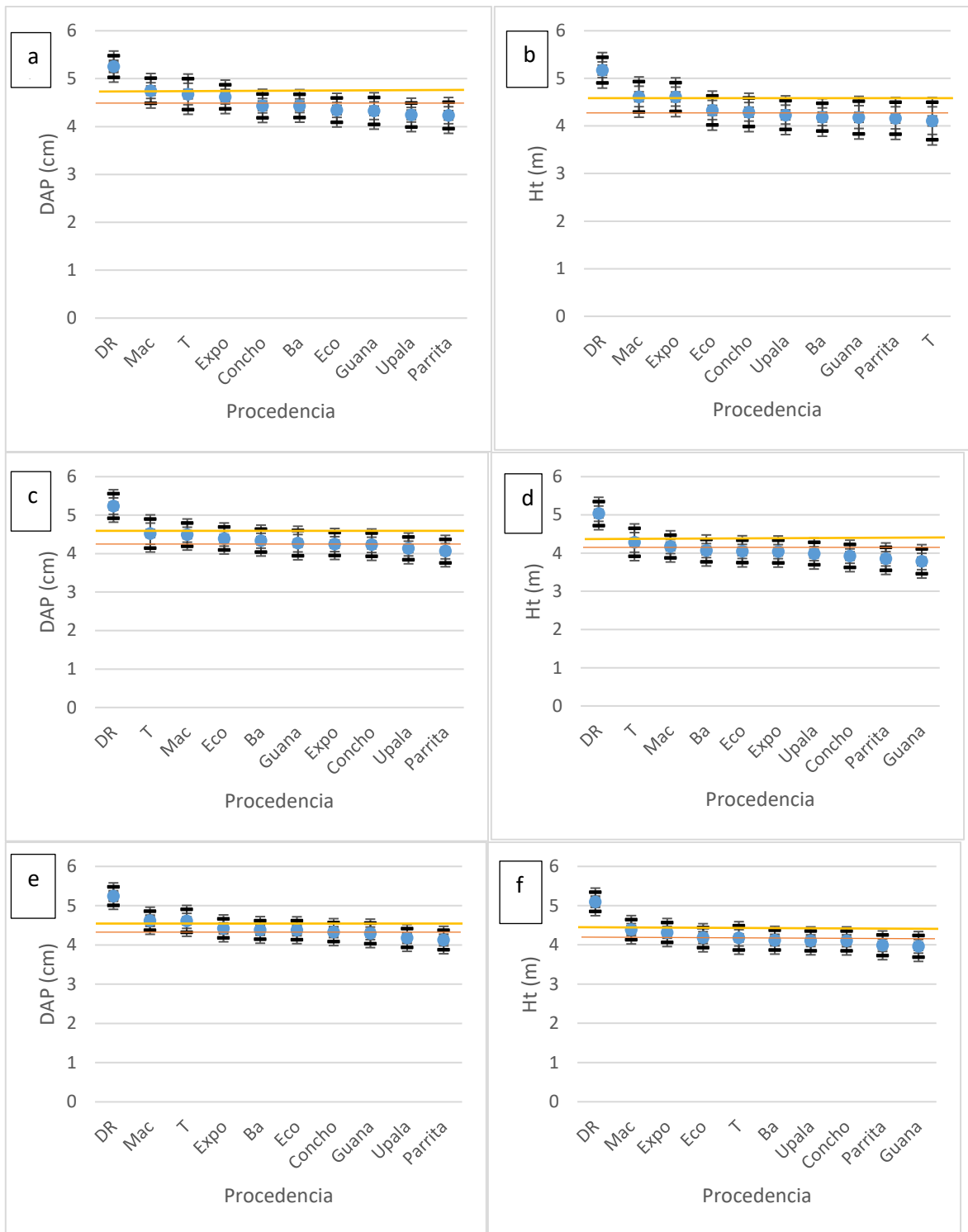


Figura 9. Ranking genético del DAP y altura total de procedencias de teca (*Tectona grandis* L.f), en dos ensayos clonales: a y b: 1,5x1,5m; c y d: 3x3m; y, e y f: ambos sitios; a los 13 meses de edad, empresa MLR Forestal de Nicaragua, Siuna, RAAN, Nicaragua.

Discusión

Análisis individual de los clones.

Los resultados obtenidos en los ensayos genéticos, claramente muestran patrones que se repiten y facilitan su interpretación. Con respecto al efecto de la densidad de siembra, los resultados evidencian que aún no hay un efecto significativo de la competencia entre los árboles aún no llegan a traslapar de manera completa. Por lo que probablemente, en unos pocos meses si sea posible tener un efecto acentuado de la competencia sobre la expresión genética de los árboles en los ensayos.

De manera general, el DAP registró menor variación ambiental que la altura total y por tanto, un mayor control genético en todos los parámetros evaluados. Estas diferencias podrían ser explicadas en parte por un efecto de precisión del instrumento de medición, que en el caso del DAP se midió directamente, mientras que la altura total se estimó a partir del uso de una vara larga graduada donde las medidas no eran visibles a simple ojo por la altura de los árboles superiores a la vista humana. Pero también, la teca es una especie que exhibe una alta variación en el crecimiento en altura durante su primer año de vida (Murillo et al, 2016), debido a varias causas entre ellas: el efecto de microvariación en el suelo producto de la no mecanización, pequeños gradientes de pendiente y de drenaje en el terreno, tamaño diferente de las plantas al momento de plantación (Madrigal, 2006) cuyo efecto se mantiene hasta por más de 9 meses y también, vigor inicial de crecimiento del genotipo. Estos efectos actúan de manera conjunta y suelen expresarse en un crecimiento sumamente variable durante los primeros meses de vida de la plantación, tal y como se observa de las mediciones de campo. En la figura 5, se puede evidenciar este fenómeno, donde se registra que el clon 25PA tiene sus límites de confianza más amplios que los demás vecinos, y con esto le permite ubicarse entre el grupo élite del ranking.

La correlación genética entre los dos espaciamientos fue aceptable, con valores entre 65% y un 78% de coincidencia entre el ranking de la altura total y el DAP respectivamente. El valor más alto para el DAP es consecuencia de la discusión anterior, donde esta variable registró un menor efecto ambiental, mayor precisión de medición y mayor control genético que la altura. Sin embargo, la correlación genética entre el ranking de ambas densidades (parámetro Rgloc), no necesariamente refleja la verdadera similitud entre los dos ensayos, pues la varianza de la interacción entre las dos densidades, fue de tan solo un 2,3% para el DAP y un 3,2% para la altura respectivamente.

Es decir, el ranking puede no ser exactamente el mismo, pero estos cambios de posición de los clones dentro del ranking puede que no correspondan con diferencias significativas entre sí. Un mejor análisis de este principio puede obtenerse de las figuras 4 y 5, donde se muestra el ranking de una

manera gráfica y se puede observar el traslape de los límites de confianza de los clones, a manera de determinar la significancia estadística.

Así también puede realizarse un análisis sencillo en las figuras 7 y 8, donde es posible determinar hasta donde la magnitud del cambio de posición de un clon en el ranking podría considerarse como significativo. En esencia, estos métodos gráficos son más robustos que la correlación genética y son consistentes con la varianza de la interacción genotipo x densidad de plantación (V_{int} y c^2_{int}), que reportan valores muy bajos desde un 2,3% y un 3,2%. Del análisis gráfico que divide en tres tercios la población, se pudo determinar que solamente el clon 5M de un total de 38 clones evaluados, registra una interacción compleja genotipo x densidad, al cambiar de la mejor posición del DAP (e 3 x 3m) y descender al tercio de peor crecimiento (1,5 x 1,5m).

Con respecto al comportamiento individual de los clones, con claridad el clon DR supera significativamente al resto del conjunto de clones de ambos ensayos a los 13 meses de edad. Exhibe también un comportamiento de total estabilidad y se ubicó siempre en la primera posición en ambos ensayos. Este clon DR, es un material élite que proviene de un programa de mejoramiento genético de Malasia (Monteuuis et al, 2011) y ha sido exitosamente introducido en América Latina a través de Brasil. Probablemente su constitución genética le ha permitido una excelente adaptabilidad al medio local y exhibe un gran potencial de mejoramiento genético en los programas que se desarrollan en América Latina, liderados por la cooperativa de mejoramiento GENFORES (Murillo et al, 2013). Sin embargo, esta accesión está sobre representada en ambos ensayos, de la cual se plantaron como relleno hasta 48 individuos dentro de un solo bloque. Esto pudo haber provocado un sesgo en las estimaciones de algunos parámetros. Así también, se registró una mortalidad importante en algunos bloques de los ensayos producto del ataque de un hongo o bacteria no identificado aún. Mientras que el clon DR, exhibe una alta tolerancia aparente a estos patógenos que le permitió mantener una alta sobrevivencia en ambos ensayos.

Del grupo de clones procedentes de programas nacionales de mejoramiento de la cooperativa GENFORES, los códigos 1M, 49X, 35E, 2M, 3M, 4M, 5X, BA14 y 26PA conforman el grupo élite de los mejores 10, junto con el clon DR. Si se estima su ganancia genética potencial, con base en los valores de Heredabilidad reportados, se obtiene que el DAP tendría una ganancia genética de alrededor de un 6%. Este valor de ganancia genética es similar al valor de 6,3% reportado como promedio histórico para la especie en Costa Rica (Badilla y Murillo, 2017). Árboles que mantengan un incremento en crecimiento diamétrico de un 6%, implica que el árbol medio logrará alcanzar un año antes el diámetro final de cosecha, es decir, se reduciría de 18 a 17 años. Estos valores de ganancia genética se espera que aumente a mayor edad, dado que los datos de campo corresponden a mediciones a los 13 meses, cuando la especie biológicamente no ha alcanzado aún su mayor incremento medio anual (Murillo et al, 2016).

Los valores de Heredabilidad individual registrados son relativamente altos para ensayos clonales de teca, superiores al 10% en ambas variables, a pesar de lo joven de ambos ensayos. Mientras que los valores de Heredabilidad media clonal (h^2_{mc}) son sumamente altos y superiores a los comúnmente reportado (Espitía, Murillo y Castillo, 2011; Murillo et al, 2013; Badilla y Murillo, 2017). Callister & Collins (2008), reportaron con clones de teca de 3,5 años de edad, una heredabilidad individual de $0,31 \pm 0,1$ para el DAP y de $0,22 \pm 0,09$ para la altura, valores más altos que los reportados en esta investigación. Sin embargo este estudio se basó en un diseño experimental que utilizó progenies clonadas, es decir, se obtuvo las progenies y se multiplicaron vegetativamente para obtener otros componentes de la varianza. De manera natural, los ensayos de progenie expresan mucho más variación que un ensayo clonal convencional.

La heredabilidad como parámetro para determinar el grado de control genético y la magnitud de las diferencias genéticas entre los genotipos presentes en el ensayo. El peso del clon DR y sus diferencias altamente significativas con el resto del grupo, pudo contribuir a aumentar los valores de heredabilidad al aumentar la varianza genética. Así también, el ensayo de alta densidad en DAP, registró valores significativamente más bajos en las varianzas de los efectos ambientales (V_{parc} y V_e), que el ensayo de 3×3 m. Estos valores sugieren que a mayor densidad de plantación, menores efectos ambientales y por tanto, valores de heredabilidad más altos.

El coeficiente de variación genética ($CV_{gi\%}$) registró valores relativamente bajos ($< 10\%$), que podrían estar explicados por una baja variabilidad genética de los programas de mejoramiento genéticos de teca en el país. Los clones evaluados proceden de procesos de selección que se realizaron en áreas reforestadas en todo el territorio nacional. En su mayoría fueron plantaciones establecidas a partir de semilla procedente de pocos árboles, por tanto, con una baja variabilidad genética. Por tanto, es de esperar una baja variabilidad genética en general en las colecciones de las empresas participantes en esta investigación.

Análisis de procedencias de los clones.

Al nivel de procedencias, el patrón de resultados se presenta muy similar al observado al nivel de clones individuales. El ensayo de alta densidad registra los efectos ambientales con valores más bajos para ambas variables y por tanto, un control genético mayor que el ensayo establecido a 3×3 m. El DAP también registra un mayor control genético que la variable altura total, explicado por la mayor precisión del instrumento de medición y por la mayor heterogeneidad de crecimiento en altura de la teca en el primer año (Murillo et al, 2016).

Los valores de heredabilidad individual y poblacional son sumamente altos, explicados por un efecto de mayor tamaño de muestra en comparación con los valores de los clones individuales. Debe señalarse que el diseño del ensayo consistió en la evaluación de cinco clones de cada una de las empresas participantes, de aquí se agrupan y se evalúan colectivamente.

En cuanto el ranking de las procedencias participante, se observa un patrón liderado por la accesión DR y seguido muy cerca por las procedencias Mac y Expo, que no registran diferencias significativas con el clon malayo. Las demás procedencias si registraron diferencias significativas con la accesión DR en ambas variables.

Puede observarse en la figura 11 que la altura total (derecha), genera mayor heterogeneidad que la variable DAP. Este resultado es esperado y se explica por la alta variabilidad que expresa biológicamente la teca en su crecimiento en altura en los primeros años de vida, tal y como lo reportaron Murillo et al (2016).

Conclusiones

- El DAP es la variable que presenta mayor control genético sobre la altura total, explicado por menor control ambiental, mayor precisión a la hora de medir y por el crecimiento heterogéneo en altura en teca durante el primer año.
- La correlación genética entre ambos ensayos es baja y se refleja en que los rankings de los clones no son idénticos en ambos ensayos, donde se presentan interacciones clon x espaciamento de siembra.
- El genotipo DR es un material élite y sobrepasa al resto de los genotipos debidamente a su composición genética superior y mayor variabilidad genética.
- Los clones que presentan mayor crecimiento y son genéticamente superiores al resto, en ambas variables y en ambos espaciamentos son: DR, 1M, 2M, 5M y 49X.
- Se presentan genotipos muy estables al haber un cambio en la densidad de la plantación, sin embargo, hay otros genotipos muy inestables y de interacciones complejas al pasar de una distancia de siembra a otra.
- Las mejores procedencias son las DR, Mac y Expo; el resto no tiene diferencias significativas entre ellas. Las mismas procedencias son los principales genotipos dentro de los rankings anteriores mencionados.

Recomendaciones

- Continuar evaluando ambos ensayos durante más tiempo y verificar si el ranking genético continúa siendo muy cercano entre ambos ensayos.
- Incluir en esas mediciones más variables como estado fitosanitario, número de ramas gruesas; además de variables como área basal y volumen para ir definiendo la ganancia genética de los clones.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a la empresa MLR Forestal de Nicaragua por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación.

Un gran agradecimiento a la Cooperativa de Mejoramiento Genético GENFORES por todo el apoyo logístico y técnico con el análisis de los ensayos genéticos clonales.

Bibliografía

Badilla, Y & Murillo, O. (2017). Ganancia genética realizada en plantaciones clonales de teca en Costa Rica. En: I Simposio Internacional GENFORES 26-27 enero, 2017. Cartago, Costa Rica.

Bolaños, K. N. & Cajina, M. I. (2001). Estudio de 16 procedencia de Teca (*Tectona grandis* L.f) en Nicaragua. Tesis para optar por el grado de Diplomado en Ingeniería Forestal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

Callister, A. L. & Collins, S. L. (2008) Genetic parameter estimates in a clonally replicated progeny test of teak (*Tectona grandis* Linn. f.) *Tree Genetics & Genomes*. 4: 237-245

Cruz, G. E. (2014). Fertilización inicial en plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* Linn F) Siuna, RAAN. Tesis por optar por el grado de Bachiller en Ingeniería en sistemas de protección agrícola y forestal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

Chalmers, WS. (1962). The breeding of pine (*Pinus caribaea* Mor.) and teak (*Tectona grandis* L.) in Trinidad: some early observations. Eighth British Commonwealth Forestry Conference, East Africa. 10 p. Trinidad Government Printing Office.

Cornelius, J. (1994). Introducción al mejoramiento genético forestal. En: Cornelius, J. P.; Mesén, J. F. & Corea, E. A. (eds.). Manual sobre mejoramiento genético forestal, con referencia especial a América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p: 1-10

De Camino, R. & Morales, J. P. (2013). La teca en América Latina. En: De Camino, R. & Morales, J.P. (eds.). Las plantaciones de teca en América Latina. (Serie técnica. Informe técnico No 397). Turrialba: CATIE. p: 29-41.

Espitia, M.; Murillo, O. & Castillo, C. (2011). Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis* L.) en Córdoba (Colombia). *Colombia Forestal* 14(1): 81-93.

Fofana, I.J.; Ofori, D.; Poitel, M. & Verhaegen, D. (2009). Diversity and genetic structure of teak (*Tectona grandis* L.f) in its natural range using DNA microsatellite markers. *New Forest* 37:175-195.

Goh, D.; Chaix, G.; Baillères, H. & Monteuis, O. (2007). Mass production and quality control of teak clones for tropical plantations: The Yayasan Sabah Group and CIRAD Joint Project as a case study. *Bois et Forêts des Tropiques*. 293 (3): 65-77.

Goh, D.; Chang, F.; Jilimin, M. & Japarudin, Y. (2010). Tissue culture propagation and dispatch of quality teak clones. *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*. 18 (1): 147-149.

Keogh, R. M. (1980). Teak (*Tectona grandis*) provenances of the Caribbean, Central América, Venezuela and Colombia. Presented at the Rio Piedras UIFRO Meeting, Working Group S1.07.09 (Rio Piedras, Puerto Rico, 8-12 Sept.). p. 343-358

Keogh, R. M. (2013) La teca y su importancia económica a nivel mundial. En: De Camino, R. & Morales, J.P. (eds.). Las plantaciones de teca en América Latina. (Serie técnica. Informe técnico No 397). Turrialba: CATIE. p: 7-28.

Madrigal, V. (2006). Gestión del Programa de Mejoramiento Genético Forestal de Ganadera B.A.S.A. en la Zona Norte de Costa Rica. Práctica de especialidad. Escuela de Ingeniería Forestal, I.T.C.R. Cartago, Costa Rica.

Martínez, H. A. (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". Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica. Moravia, San José. 73 p.

Monteuuis, O.; Goh, D.K.S.; García, C.; Alloysius, D.; Gidiman, J.; Bacilieri, R. & Chaix, G. (2011). Genetic variation of growth and tree quality traits among 42 diverse genetic origins of *Tectona grandis* planted under humid tropical conditions in Sabah, East Malaysia. *Tree Genetics and Genomes* 1(6): 1263-1275

Murillo, O. (1994). Estrategias de mejoramiento genético forestal. En: Cornelius, J. P.; Mesén, J. F. & Corea, E. A. (eds.). Manual sobre mejoramiento genético forestal, con referencia especial a América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. P: 187-199

Murillo, O.; Obando, G., Badilla, Y. & Araya, E. (2001). Estrategias de mejoramiento genético para el Programa de Conservación y Mejoramiento Genético de especies forestales del ITCR/FUNDECOR, Costa Rica. *Revista Forestal Latinoamericana* 16(30): 273-285

Murillo, O.; Vallejos, J.; Badilla, Y.; Guzmán, N.; Luján, R. & González, E. (2016). Crescimento efetivo mensal inicial em plantações de teca (*Tectona grandis*) em Costa Rica. *Revista Nativa* 4(2): 87-90.

Murillo, O.; Wright, J.; Monteuuis, O. & Montenegro, F. (2013). Mejoramiento genético de la teca en América Latina. En: De Camino, R. & Morales, J.P. (eds.). Las plantaciones de teca en América Latina. (Serie técnica. Informe Técnico No 397). Turrialba: CATIE. p: 86-111

Pedersen, A. P.; Olesen, K. & Graudal, L. (1993). Tree improvement at species and provenance level. Lecture note No. D.3. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. p: 57-73.

Resende, MDV de. (2007) SELEGEN-REML/BLUP. Sistema estatístico e seleção genética computadorizada. (programa de cómputo). Brasília. EMPRABA.

Rojas, F. & Murillo, O. (2011) Avance en el uso de marcadores moleculares en la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal Genfores. In Congreso Forestal Latinoamericano (5.18-21 oct, Lima, Perú).

Toval, N. (2002). La familia Smilacaceae en Nicaragua. Tesis para optar al título de Licenciado en Biología. UNA. León, Nicaragua.

Vallejos, J.; Badilla, Y.; Picado, F. & Murillo, O. (2010). Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense* 34 (1). p: 105-119.

Verhaegen, D; Fofana, I.J.; Logossa, Z.A.; Ofori, D. (2010). Whats is the genetic origin of teak (*Tectona grandis*) introduced in Africa and in Indonesia? *Tree Genetics and Genomes* 6(5): 717-733