

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS DE GRADUACIÓN

**“Condición silvicultural y propiedades físicas y generales de la  
madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en  
plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas, en la Estación  
Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste”**

**MARÍA FERNANDA OBANDO PICADO**

**CARTAGO, COSTA RICA**

**2010**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS DE GRADUACIÓN**

**“Condición silvicultural y propiedades físicas y generales de la  
madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en  
plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas, en la Estación  
Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste”**

**MARÍA FERNANDA OBANDO PICADO**

**CARTAGO, COSTA RICA**

**2010**

**“Condición silvicultural y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas, en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste”**

**M<sup>a</sup> Fernanda Obando Picado\***

**RESUMEN**

---

La madera de especies nativas sigue siendo muy codiciada en el mercado costarricense, pues es la principal materia prima para gran cantidad de mueblerías y artesanos. No obstante, los estudios sobre dichas especies en sistemas de reforestación son escasos, por lo que aún se obtienen únicamente a partir de aprovechamientos en bosques y sitios abiertos, lo que deja como consecuencia su escasez en la actualidad. En el presente estudio se analizaron 14 hectáreas plantadas en 1991 por la Estación Experimental Forestal Horizontes, cada una con al menos un 25% o 50% de *Enterolobium cyclocarpum* o *Samanea saman*, combinadas en hileras de por medio con una o dos especies nativas diferentes como tratamiento. Se determinó el incremento en área basal desde 1995 hasta el 2010 y las condiciones silviculturales actuales como cantidad, calidad y valor del material presente según el tratamiento y por especie; además se determinaron propiedades generales y físicas, como el color, diámetro promedio, porcentaje de duramen, densidad, peso específico básico, contracción volumétrica, contenido de humedad y el límite de producción de madera juvenil y adulta, como características que condicionan su valor en el mercado. Se encontró que el tratamiento con los resultados más favorables fue el de la plantación mixta de *E. cyclocarpum* con *D.retusa*. El volumen encontrado en trozas comerciales para *S. saman* fue de 35,81 m<sup>3</sup>/ha y 53,83 m<sup>3</sup>/ha para *E. cyclocarpum*. No se encontraron diferencias significativas entre las propiedades físicas determinadas para cada plantación mixta. El peso específico básico promedio para *S. saman* fue 0,48 y para *E. cyclocarpum* 0,34, ambos dentro de los rangos de referencia según la especie.

**Palabras claves:** Plantaciones mixtas, *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman*, condición silvicultural, propiedades físicas y generales de la madera.

**"Silvicultural condition and general and physical properties of wood of *Samanea saman* and *Enterolobium cyclocarpum* in mixed plantations of 19 years with native species, at the Horizontes Forest Experiment Station, Liberia, Guanacaste"**

**ABSTRACT**

---

The wood of native species remains highly coveted in the Costa Rican market, it is the main raw material for large amount of furniture and crafts factories. However, studies on these species in reforestation schemes are limited. Many precious woods are still obtained only from harvesting in forests and open areas, leaving as a result, their scarcity today. Therefore, the objective of this study was to examine 14 hectares planted in 1991 by the Forest Experimental Station Horizontes, with at least 25% or 50% of *Samanea saman* or *Enterolobium cyclocarpum*, combined in rows by one or two native species as a treatment. It was determined the basal area increment from 1995 to 2010, the current silvicultural conditions such as quantity, quality and value of this material by treatment and for each species. Also, it was determined the general and physical properties such as color, average diameter, percentage of heartwood, density, specific weight, volumetric shrinkage, moisture content and the limit production of juvenile and mature wood; characteristics that determine its value in the market. The treatment with the most favorable results was the mixed plantation of *E. cyclocarpum* and *D. retusa*. The volume of commercial wood estimated in 2010 was 35.81 m<sup>3</sup>/h for *S. saman* and 53.83 m<sup>3</sup>/h for *E. cyclocarpum*. No significant differences were found between the physical properties determined for each mixed plantation. The average of specific weight for *S. saman* was 0.48 and for *E. cyclocarpum* 0.34, both values within the reference ranges according to the species.

**Keywords:** Mixed plantations, *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman*, silvicultural condition, physical and general properties of wood.

\*Obando Picado, M. 2010. Condición Silvicultural actual y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas con especies nativas ubicadas en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 60 p.

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

**Condición silvicultural actual y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas ubicadas en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste**

**Miembros del Tribunal Evaluador**

---

**Ing. Alejandro Meza Montoya. Msc.**

**Director y Tutor de Tesis**

---

**Ing. Roger A. Moya Roque. Ph.D.**

**Profesor evaluador**

---

**Ing. Milena Gutiérrez Leitón**

**Coordinadora EEFH**

---

**M<sup>a</sup> Fernanda Obando Picado**

**Estudiante**

## **DEDICATORIA**

---

A Dios por todas las oportunidades que me brindó para poder llegar hasta aquí.

A mi madre Darling Picado, como agradecimiento por todo el sacrificio y las oportunidades, por ser mejor amiga, apoyo y ejemplo, por demostrarme que con esfuerzo, humildad, honestidad y perseverancia siempre se puede salir adelante y alcanzar más de lo que se puede imaginar.

A Luis por el apoyo incondicional, su ayuda, paciencia y comprensión durante este proceso.

## AGRADECIMIENTOS

---

A mi abuelita Dora Lina por estar siempre pendiente de mis exámenes y orar a diario por mi bienestar; por tener fe en mí y enseñarme sus valores.

A mis tíos Geovanni y Yorlene, a Paula, Lucía, Johan, a mis sobrinos Saki, Ryu, a toda mi familia y a la de Luis, por los buenos deseos, apoyo, amor y confianza a pesar de la distancia.

A Janna, Naty y Priscilla, por aguantarme y apoyarme incondicionalmente.

A todos los que nos hemos conocido en este camino. A Abraham, Ale, Allan, Andrea, Anita, Carlos, la China, Freddy, Iri, Jennifer, Jully, Manuel, Margie, Massiel, Mauren, Meli, Nelo, Oscar, Oxa, Pablo, Randy, Rouse, Steaven, Stephe, por su compañerismo, transparencia, amistad y apoyo.

Al Ing. Roger Moya por su profesionalismo, el apoyo, la confianza, la paciencia y su gran aporte al presente estudio. Igualmente al Ing. Olman Murillo y a mi tutor el Ing. Alejandro Meza por su aporte de ideas, su tiempo, la confianza, los ánimos y la paciencia.

A todos los trabajadores del CIIBI, por ayudarme en el proceso de aserrío y hacer el trabajo más ameno. A Chema, Deiby, Rodrigo y Robert, por su apoyo, amistad y confianza.

A todos los de la Estación Experimental Forestal Horizontes, por hacerme sentir bienvenida y brindarme todo el apoyo, en especial a la Ing. Milena Gutiérrez por la oportunidad y el financiamiento y a Ronald Vargas por todo su tiempo, esfuerzo, dedicación en el campo y en la corta de los árboles. A Gerald, Alex, Félix, Miguel por el apoyo durante el trabajo de campo. A Vanessa, a doña María y a doña Ana por el cariño con el que me recibieron.

# INDICE GENERAL

---

	<b>Página</b>
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivos .....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Descripción de las especies.....	4
<i>Samanea Saman</i> (Jacq.) Merrill.....	4
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.....	5
Estudios anteriores .....	6
METODOLOGIA .....	8
Descripción del área de estudio.....	8
<i>Ubicación y cobertura</i> .....	8
<i>Zona de vida</i> .....	8
<i>Topografía y suelos</i> .....	8
<i>Uso anterior y estado actual</i> .....	9
<i>Diseño de las plantaciones mixtas</i> .....	9
<i>Antecedentes de manejo</i> .....	10
Evaluación del Incremento en área basal por tratamiento .....	11

Condición silvicultural y su valor en el mercado.....	11
Determinación de las características generales y físicas de la madera .....	13
<i>Obtención de las muestras</i> .....	13
<i>Densidad y contenido de humedad</i> .....	14
<i>Color de la madera</i> .....	15
<i>Límite entre la producción de madera juvenil y madura</i> .....	15
<i>Análisis estadístico</i> .....	15
RESULTADOS .....	16
Capítulo 1. Incremento en área basal. ....	16
Capítulo 2. Condición silvicultural y su valor en el mercado .....	25
<i>Condición silvicultural según tratamiento</i> .....	25
<i>Condición silvicultural general por especie</i> .....	27
Capítulo 3. Características generales y físicas de la madera.....	32
Características generales .....	32
<i>a. Promedios generales</i> .....	32
<i>b. Color de la madera</i> .....	35
<i>c. Variación del color con la distancia de la médula</i> .....	37
Características físicas .....	40
<i>a. Promedios generales</i> .....	40
<i>b. Variación de las propiedades físicas con la distancia de la médula</i> .....	42
CONCLUSIONES .....	49
RECOMENDACIONES .....	53
BIBLIOGRAFÍA .....	54
ANEXOS .....	59

## ÍNDICE DE CUADROS

---

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Propiedades físicas reportadas para la madera de <i>S. saman</i> (UNC/SENA, 2003). .....	4
<b>Cuadro 2.</b> Propiedades físicas reportadas para la madera de <i>E. cyclocarpum</i> (Arevalo , R. y Londoño, A. 2006). .....	5
<b>Cuadro 3.</b> Condición silvicultural actual para los tratamientos con la especie <i>S. saman</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en de la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	26
<b>Cuadro 4.</b> Condición silvicultural actual para los tratamientos con la especie <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, 2010. ....	27
<b>Cuadro 5.</b> Incremento del área basal por hectárea para <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, 2010. ....	27
<b>Cuadro 6.</b> Incremento promedio estimado del diámetro por hectárea para <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, 2010. ....	28
<b>Cuadro 7.</b> Incremento promedio estimado de la altura total y comercial por hectárea para <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, 2010. ....	29
<b>Cuadro 8.</b> Índices de calidad promedio estimados para <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, 2010. ....	29
<b>Cuadro 9.</b> Incremento promedio estimado del volumen comercial por hectárea según número de trozas comerciales y densidad promedio de los individuos de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, 2010. ....	30
<b>Cuadro 10.</b> Número de parcelas evaluadas, volumen existente por especie y su valor en el mercado en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, 2010. ....	30

<b>Cuadro 11.</b> Características generales de la madera de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.....	33
<b>Cuadro 12.</b> Parámetros de color para la madera de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	36
<b>Cuadro 13.</b> Propiedades físicas de la madera de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> según tratamiento, en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	41
<b>Cuadro 14.</b> Modelo de variación de las propiedades físicas de la madera de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> según tratamiento, en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	46
<b>Cuadro 15.</b> Coeficiente de correlación entre las propiedades de la madera y las características del árbol según especie, en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Mapa de la ubicación de las plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	9
<b>Figura 2.</b> Vista general de las plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	10
<b>Figura 3.</b> Ubicación de las muestras tomadas para analizar propiedades físicas y generales de la madera de las plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	14
<b>Figura 4.</b> Incremento anual del área basal por hectárea para los tratamientos con la especie <i>S. saman</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	16
<b>Figura 5.</b> Incremento anual del área basal por hectárea para los tratamientos con la especie <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	20
<b>Figura 6.</b> Incremento anual del área basal por hectárea para los tratamientos con la mezcla de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	23
<b>Figura 7.</b> Distribución de las calidades por troza estimadas por hectárea para <i>S. saman</i> (izquierda) y <i>E. cyclocarpum</i> (derecha) en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	31
<b>Figura 8.</b> Proporción de duramen en madera de <i>S. saman</i> (izquierda) y <i>E. cyclocarpum</i> (derecha) proveniente de ensayos de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	34
<b>Figura 9.</b> Proporción de corteza en madera de <i>S. saman</i> (izquierda) y <i>E. cyclocarpum</i> (derecha) proveniente de ensayos de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	35

<b>Figura 10.</b> Variación del color con la distancia de la médula en madera de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	38
<b>Figura 11.</b> Variación del color en la madera de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> provenientes de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, con respecto al color de la madera proveniente de bosque natural, Guanacaste, 2010.....	39
<b>Figura 12.</b> Muestras del color de la madera de <i>S. saman</i> y <i>E. cyclocarpum</i> provenientes de bosque natural (izquierda) y de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH (derecha), Guanacaste, 2010.....	40
<b>Figura 13.</b> Gráfico de dispersión, distancia de la medula en madera de <i>S. saman</i> proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	43
<b>Figura 14.</b> Gráfico de dispersión, distancia de la medula en madera de <i>E. cyclocarpum saman</i> proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

---

	<b>Página</b>
<b>Anexo 1.</b> Valores estadísticos del ANOVA para las propiedades generales de la madera de <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	59
<b>Anexo 2.</b> Valores estadísticos del ANOVA para las propiedades físicas de la madera de <i>E. cyclocarpum</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	59
<b>Anexo 3.</b> Valores estadísticos del ANOVA sobre características generales de la madera de <i>S. saman</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	60
<b>Anexo 4.</b> Valores estadísticos del ANOVA sobre características físicas de la madera de <i>S. saman</i> en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010. ....	60

## INTRODUCCIÓN

---

El sector de fabricación de muebles y artesanías es muy numeroso en el país y forma una parte importante de la industria forestal tradicional o de diámetros mayores, donde predomina el uso de especies nativas. No obstante uno de los factores que la condicionan es la escasez de dichas especies, dado que se obtienen únicamente a partir de aprovechamientos en bosque natural y en sitios abiertos (Carrillo, 2001). A pesar de las prohibiciones de corta para algunas de ellas, son muy codiciadas por ser maderas conocidas y con tradición para la fabricación de muebles, como *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste) y *Samanea saman* (Cenízaro), entre otras. De manera que se comercializan legal o ilegalmente para satisfacer la demanda de materia prima en la elaboración de muebles y artesanías.

Los estudios realizados con especies nativas en Costa Rica dejan ver gran potencial (INISEFOR, 2008), inclusive se ha demostrado en plantaciones que dichas especies permiten un proceso de recuperación de la biodiversidad en áreas desgastadas (Alice, F. *et al.* 2004), pero la experiencia no brinda suficiente información sobre su comportamiento en plantaciones forestales, por lo que no permiten la toma de decisiones acertadas sobre la utilización de estas especies en programas de reforestación, para así disminuir el impacto de aprovechamiento sobre bosques (Alice, *et al.* 2004).

La Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH) desarrolló el Proyecto de Plantaciones Mixtas 1991–1993, con el fin de generar conocimiento sobre el comportamiento de 14 especies nativas, su crecimiento y rentabilidad de aprovechamiento a nivel de plantación (INISEFOR, 2008). Además consideró a productores con poca disponibilidad de tierras al establecer parcelas experimentales de 1 hectárea y utilizar especies acompañantes con diversos usos, lo que les permitiría el aprovechamiento de los desechos producidos durante el manejo silvicultural, enfocado en obtener la mejor cosecha final de la especie dominante.

En el presente estudio se valora el estado silvicultural de las plantaciones y las características generales y físicas de la madera de *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum*, proveniente de bloques de plantaciones mixtas del proyecto desarrollado por la EEFH, en el distrito Nacascolo, provincia de Guanacaste. Dichas especies se seleccionaron para el estudio debido a que superaron el crecimiento de las demás que crecen en los ensayos de la Estación Experimental Forestal Horizontes.

El objetivo fue determinar las condiciones silviculturales actuales para ambas especies plantadas en condición mixta con siete especies nativas diferentes como tratamientos, estimando el volumen, área basal y calidad de las trozas. Además se estimó el incremento en área basal desde su etapa inicial hasta el año 2010 para las especies de cada ensayo, a partir de los datos de mediciones anuales en parcelas permanentes de muestreo proporcionados por la EEFH, con el fin de describir el comportamiento de cada especie en determinadas condiciones.

Dentro de las características generales y físicas de la madera se determinó el espesor de corteza, el diámetro del duramen, excentricidad de médula, la densidad, el peso específico básico, la contracción volumétrica, el color de la madera (asociado a su durabilidad) y el límite de producción de madera juvenil y adulta, como factores de importancia en la comercialización de maderas en Costa Rica.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Determinar las condiciones silviculturales y las propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, en plantaciones mixtas de 18 años con especies nativas, en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar el incremento en área basal por tratamiento desde su establecimiento hasta el año 19 para evaluar la efectividad del tratamiento y el manejo de la competencia.
- Estimar el volumen existente en cada tratamiento e interpretar el nivel de calidad de la plantación, así como su valor en pie según las exigencias del mercado.
- Determinar la excentricidad, color, diámetro total, diámetro sin corteza, diámetro del duramen, espesor de corteza promedio para cada especie según el tratamiento aplicado.
- Determinar el peso específico básico, contenido de humedad verde, densidad verde, contracción volumétrica, contracción tangencial y contracción radial de la madera para cada especie según el tratamiento aplicado.
- Estimar el período límite de producción de madera juvenil y madura para ambas especies.

# REVISIÓN DE LITERATURA

---

## Descripción de las especies

### *Samanea Saman* (Jacq.) Merrill.

Presente en climas secos y húmedos, en ambas vertientes, entre elevaciones de 0 – 800 m. Presenta flores de enero a marzo y frutos de enero a junio. La mejor época para la recolección de las semillas son los meses de febrero a marzo. Alcanza hasta los 25 m de altura. Los frutos sirven de alimento para el ganado, pero sus semillas poseen el alcaloide tóxico pitecolobina, con propiedades abortivas. Medicinalmente se emplea contra dolores de cabeza y diarreas (Zamora, 2000).

La madera se considera resistente y ligera, con un peso específico básico de 0,42 a 0,64, presenta grano entrecruzado, con diferencia notable entre la albura y el duramen. Se seca al aire con rapidez moderada, pero con defectos. Se utiliza en construcción, muebles, ebanistería, ruedas para carretas, parquet, artesanías, entre otros y como ornamental. (Zamora, 2000).

El Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad Nacional de Colombia (UNC/SENA, 2003) reporta los siguientes valores (Cuadro 1) para las propiedades físicas de *S. saman*:

**Cuadro 1.** Propiedades físicas reportadas para la madera de *S. saman* (UNC/SENA, 2003).

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		Contracción (%)		
Verde	seca (al aire)	Tangencial	Radial	Volumétrica
1,13	0,57	1,2	0,7	2

El cuanto a su crecimiento, durante los primeros 10 años puede crecer 0,8 - 1,5 m/año en altura y unos 2 cm/ año en diámetro, lo que se considera moderadamente rápido. El incremento anual de volumen está en un rango de 10 - 25 m<sup>3</sup>/ha/año (OFI/CATIE, 2003).

Existen reportes sobre su crecimiento en plantaciones mixtas, en la cuenca del Río Grande de Carazo, Nicaragua (OFI / CATIE, 2003), el IMA en diámetro fue de 1,1 cm y en altura de 0,9 m, resultados muy similares a los de plantaciones puras. En Costa Rica, en la zona de Nicoya, se reporta un IMA en diámetro de 1,1 cm y de 1,7 m en altura total. (OFI / CATIE, 2003).

***Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.**

Presente en tierras bajas y calientes, en ambas vertientes, entre elevaciones de 0 -1300 m. Presenta flores de enero a marzo y frutos de enero a mayo. La mejor época para la recolección de semillas es de febrero a marzo (Zamora, 2000). El árbol llega a los 30 m de altura. Su madera se usa en vigas, canoas, ruedas de carreta, muebles, enchapes y artesanías. Se considera resistente al fuego y al comején, durable en el agua y en suelos húmedos. El aserrín es tóxico, puede matar a peces y ganado. La corteza y su resina se utilizan para tratamientos contra afecciones bronquiales y pulmonares.

Su madera es de peso ligero o mediano, con valores entre 0,35 - 0,60 de peso específico básico, con textura media a gruesa. El duramen es marrón oscuro, a veces con tintes rojizos y su albura es de color blanco apagado (OFI/CATIE. 2003)

**Cuadro 2.** Propiedades físicas reportadas para la madera de *E. cyclocarpum* (Arévalo , R. y Londoño, A. 3006).

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		Contracción (%)		
Verde	seca (al aire)	Tangencial	Radial	Volumétrica
0,77	0,45	2,6	0,9	3,5

Experiencias preliminares con esta especie en plantaciones con manejo, en Guanacaste, a espaciamientos iniciales de 3 x 3 m, reportan un IMA en diámetro de 2,0 cm y en altura de 1,2 m, a los 12 años de edad con 343 árboles/ha, con una productividad en volumen de 9,2 m<sup>3</sup>/ha/año (OFI/CATIE, 2003).

Su crecimiento en plantaciones ha sido considerado bueno pero no rápido en comparación con otras especies. En áreas abiertas se han reportado árboles con crecimiento de hasta 10cm anuales en diámetro. En plantaciones el crecimiento inicial es lento hasta que el árbol alcanza una posición dominante. A los 8 años puede alcanzar alturas de 8 - 15 m y diámetros a la altura del pecho de 8 - 12 cm (OFI/CATIE, 2003).

En Puerto Rico se reportó una plantación en suelos calcáreos que a sus 25 años de edad los árboles alcanzaron altura de 18 metros y un diámetro promedio de 42 cm, con una troza limpia de hasta 7,4 m; y a sus 26 años tuvo un área basal de 12 m<sup>2</sup>/ha. En plantaciones se recomiendan espaciamientos de 3 x 3 o 4 x 4, con turnos de rotación de 25 a 35 años. La longitud y forma del fuste se logra mejorar a través de la poda. La especie se considera intolerante a la sombra (Francis, 1988).

### **Estudios anteriores**

Existen datos anuales sobre el crecimiento de la plantación en diámetro y altura, desde su establecimiento hasta el año 18, a partir de parcelas permanentes de muestreo de 504 m<sup>2</sup> por cada hectárea o ensayo.

En 1999 se realizó un muestreo y análisis de las propiedades del suelo en cada ensayo. En el 2002 se desarrolló una tesis en la EEFH sobre adaptabilidad de las especies arbóreas nativas para la reforestación en el bosque seco tropical de Costa Rica, en donde se estudiaron las propiedades del suelo y las propiedades físico-mecánicas de la madera a los ocho años de edad (por el Laboratorio de Productos Forestales de la UCR).

Dado que el estudio encontró que las condiciones del suelo son el factor más importante en el crecimiento de las especies (excepto para *Tabebuia rosea*), se tomaron en cuenta los resultados más influyentes al comparar la efectividad del crecimiento para cada tratamiento.

Dicho estudio encontró que *E. cyclocarpum* muestra un mayor potencial de crecimiento conforme aumenta la densidad de materia seca y un contenido gravimétrico de agua menor, y que además presenta correlaciones negativas entre el crecimiento y el contenido de hierro y cobre en el suelo.

Czarnowski (2002) también determinó que las zonas con problemas de acumulación de agua tienen un efecto altamente negativo sobre el crecimiento de *E. cyclocarpum*, mientras que *S. saman* no mostró reacción alguna. Además determinó que *S. saman* fue la única especie que mostró correlaciones significativas del crecimiento en altura con la densidad del suelo y el pH, positivamente. Su crecimiento reduce conforme aumenta la capacidad de campo disponible y disminuye conforme aumenta contenido de humus. El Calcio, el Potasio y el Zinc favorecen su crecimiento (Czarnowski, 2002).

En el año 2002 se realizó un análisis fustal en los mismos ensayos de parcelas mixtas para tres de las especies nativas entre las cuales se incluyeron *S. saman* y *E. cyclocarpum*. Con el análisis de los anillos se reconstruyeron diferentes variables asociadas al crecimiento y al desarrollo de los árboles individuales. El estudio concluyó que ambas especies comparten el dosel en las mezclas donde crecen juntas y tienen un desarrollo prácticamente paralelo, con una ligera ventaja para *E. cyclocarpum* (Mora, et al 2002).

En cuanto a la altura promedio, *S. saman* superó la de *E. cyclocarpum* hasta por 2 metros a los 10 años de edad. Para la variable del diámetro medio el estudio encontró diferencias de 1 cm a la misma edad, en donde *E. cyclocarpum* sacó mayor ventaja (Mora, et al 2002). Además el autor menciona que las parcelas se encontraron en buenas condiciones fitosanitarias y con baja tasa de mortalidad, sin indicios de afectación por fuego, viento, o por malas prácticas silviculturales (Mora, et al 2002).

## METODOLOGIA

---

### **Descripción del área de estudio**

#### *Ubicación y cobertura*

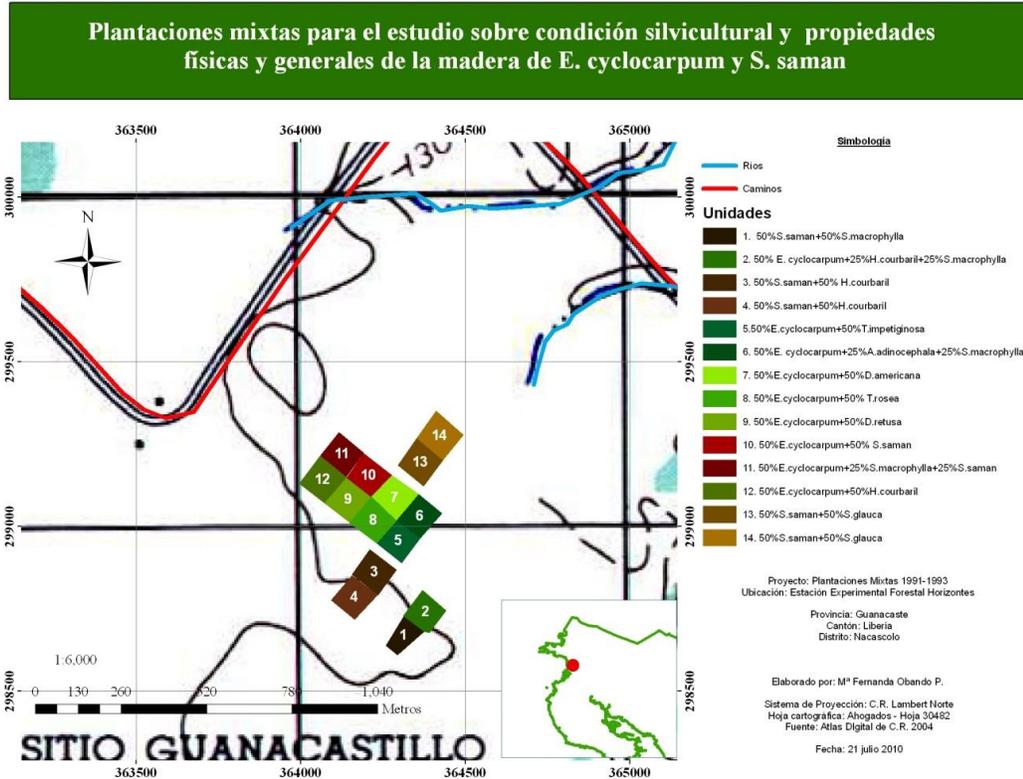
La Estación Experimental Forestal Horizontes se ubica en el distrito de Nacascolo, en Liberia, Guanacaste, Costa Rica (Figura 1), latitud 299312.79 y longitud 361849.62 en el sistema de proyección Costa Rica Lambert Norte. El 70 % de la cobertura en la Estación se encuentra con algún grado de regeneración, desde pastizales arbustivos hasta bosque de galería (INISEFOR, 2008). Los puntos que denotan los ensayos utilizados para este estudio fueron marcados con el GPS Garmin Map 60cx Gpsmap.

#### *Zona de vida*

Pertenece a la zona de vida Bosque Seco Tropical, con precipitaciones de 1500 a 2000 mm anuales y altitudes entre los 60 y 184 metros (INISEFOR, 2008). Presenta una biotemperatura promedio de 24° a 24.5° C, y de 5 a 6 meses secos.

#### *Topografía y suelos*

Geológicamente es de origen volcánico, por depósitos superficiales, el material parental se compone de rocas ignimbritas, formadas entre el periodo terciario y el pleistoceno, terminando su formación actual por medio de la sedimentación en el Holoceno (INISEFOR, 2008). Se trata de suelos inceptisoles (del suborden Tropept, gran grupo Disotropept), suelos jóvenes con horizonte b apenas formado, sin otro horizonte diagnóstico. Sus elementos de formación presentan baja saturación de bases. Son terrenos de carácter plano, con pendientes entre el 0 y el 2% (Atlas Digital de Costa Rica, 2004).



**Figura 1.** Mapa de la ubicación de las plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

### *Uso anterior y estado actual*

La Estación conformaba en su mayoría una hacienda ganadera antes de ser parte del Área de Conservación de Guanacaste (ACG), donde se desarrolló la ganadería extensiva y cultivos de arroz, sorgo y algodón. Desde 1989 se convirtió en la sede del Programa de Restauración y Silvicultura, donde se promueve el establecimiento de proyectos de investigación silvicultural en la Estación y proyectos de restauración de bosques en otras Áreas Protegidas del ACG.

### *Diseño de las plantaciones mixtas*

El estudio se realizó en 14 de las unidades experimentales o ensayos de plantaciones mixtas con *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, en combinación con *Albizia adinocephala*, *Dalbergia retusa*, *Diphysa americana*, *Hymenea courbaril*, *Simarouba glauca*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia impetiginosa*, y *Tabebuia rosea*.

Cada unidad de 1 hectárea corresponde a un tratamiento, dos de ellos se repiten. Las especies están distribuidas en hileras de por medio, cada una con distanciamiento de 3 x 3 m.



Fotografías: Ronald Castro.

**Figura 2.** Vista general de las plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

#### *Antecedentes de manejo*

En la preparación del terreno se realizó solamente una chapea, antes de la marcación y hoyado. La siembra fue realizada en los meses de junio y julio. Un año después se realizó una resiembra que varió según el ensayo entre el 5% y el 20%. En la etapa de plantación no se utilizó ningún tipo de fertilizante (Gutiérrez, 2010).

Se llevaron a cabo rodajeas anuales durante los primeros tres años, en los primeros cinco años se realizaron 3 chapias por medio del tractor agrícola en dos direcciones, y 2 chapeas anuales más a los 6 y 7 años en una sola dirección. Han aplicado el uso de ganado para el control de malezas, lo que ha resultado efectivo y no ha proporcionado daños a la plantación, además de disminuir los costos de mantenimiento representa una opción para sistemas silvopastoriles en la zona (Gutiérrez, 2010).

Se realizó una poda a los cinco años de edad, a tiempo para las especies de lento crecimiento pero tardía para *S. saman* y *E. cyclocarpum*. En los ensayos con *S. saman* y *E. cyclocarpum* se les aplicó un raleo sanitario en 1997 y un raleo sistemático del 33% en 2002 que se completó al 50% en el año siguiente (Gutiérrez, 2010).

## **Evaluación del Incremento en área basal por tratamiento**

Se analizaron los datos anuales de las parcelas permanentes sobre crecimiento de la plantación en diámetro y altura, pero con el fin de ilustrar mejor la eficiencia del crecimiento de las especies según el tratamiento por hectárea, se utilizó la variable del incremento en área basal desde el año 1995 al presente, en comparación gráfica con la(s) especie(s) acompañante(s).

A partir del momento en que el incremento del área basal por año es cercano a cero o negativo, se considera que la plantación ya ha superado su capacidad productiva según su condición de competencia, por lo que mantenerla en pie puede dejar de ser rentable, a menos que se aplique un nuevo tratamiento silvicultural o raleo, para favorecer a los árboles con mayor potencial de crecimiento.

## **Condición silvicultural y su valor en el mercado**

Para determinar el volumen y la calidad por trozas se realizó un muestreo sistemático con arranque aleatorio, en donde se midió uno de cada tres árboles en pie de la especie en estudio. A cada uno se le midió el diámetro con cinta diamétrica a 1,30 m de altura (DAP) desde la base del suelo y se le determinó el número de trozas comerciales de 2 metros de largo. Además cada troza fue clasificada tomando en consideración los siguientes criterios:

*Calidad 1:* Troza completamente recta o muy levemente torcida. Ausencia de plagas y enfermedades, heridas, nudos grandes, grano en espiral, rabo de zorro. La troza de calidad 1 es aquella que presenta no menos de 25 cm de diámetro con corteza en su cara menor y se presenta absolutamente libre de ramas.

*Calidad 2:* Troza con el fuste recto o aserrable, con ramas en ángulo de 60°. Presencia o evidencia de la existencia de ramas gruesas, muchas ramas o fuste levemente inclinado. Se incluyeron aquellas trozas que no alcanzan un diámetro de 20 cm, dado que este valor de diámetro está directamente relacionado con niveles más altos de productividad y rentabilidad en el procesamiento de la madera.

*Calidad 3:* Troza que presenta torceduras severas, grano en espiral, en árboles muy inclinados, con bifurcaciones, ramas muy gruesas, abundantes o insertadas en ángulo menor de 45°, heridas importantes, ramas muertas o daños por plagas y enfermedades, con un diámetro sin corteza en su cara menor cercano o ligeramente inferior a los 10 cm, o que no tiene las medidas mínimas de comercialización (2 m).

*Calidad 4:* Troza no aserrable, ya sea por sus características físicas o por sus dimensiones (menores a 10 cm de diámetro sin corteza). Su utilidad es exclusiva para leña, en postes rollizos o biomasa.

El volumen de cada árbol muestreado, se obtuvo de la siguiente forma según Murillo O y Badilla Y, 2010:

$$V = Dap^2 * \pi/4 * Hc * f$$

El factor de forma o factor de reducción dimétrico fue estimado a partir de la cubicación de los árboles cortados para el estudio de propiedades físicas y generales de la madera de cada especie. Se estimó un valor para la primera troza y otro para las trozas distribuidas después del punto de bifurcación.

Los datos obtenidos en el muestreo fueron analizados en Excel según la metodología de Murillo O y Badilla Y (2010). Dicha metodología brinda parámetros comparables a nivel de plantaciones, como altura total promedio, área basal por hectárea, número de árboles por hectárea, número de trozas comerciales por árbol y volumen en trozas comerciales por hectárea, así como el índice de calidad por árbol estimado del 1 a 100.

El área neta plantada para este análisis se considera de 13 hectáreas, se excluyó el ensayo con el 25% de *E. cyclocarpum*, 25% de *H. courbaril* y 50% *S. macrophylla*, y en el caso de la unidad con 50% *E cyclocarpum*, 25% *S. macrophylla* y 25% *S. saman*, se excluyeron los datos de esta última especie en la valoración, debido a que la hoja de cálculo utilizada permite únicamente el análisis de parcelas con el mismo tamaño.

La primera parte del análisis consistió en la comparación de las condiciones silviculturales para cada especie según el tratamiento aplicado. Las variables estimadas fueron densidad de plantación de la especie, diámetro promedio, altura total, área basal, trozas comerciales por árbol, volumen en trozas comerciales, índice de calidad por árbol promedio e índice de calidad de troza promedio.

En la segunda parte se analizaron los datos por especie, con el fin de caracterizar la plantación a nivel general y así estimar su valor. Para determinar cómo ha sido la tasa de crecimiento general de cada especie en la plantación se estimaron los valores del Incremento Medio Anual (valor del diámetro entre su edad) para el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total y comercial, área basal y volumen, no obstante la comparación en crecimiento con base en el IMA tiene sentido solamente cuando es referido a una misma edad y una competencia similar (Murillo; Badilla, 2010).

El valor real estimado en dicha metodología, según Murillo O. *et al* (2004), considera un castigo del 10% por disminución en categoría diamétrica (relacionado con el rendimiento en aserrío), un factor edad relacionado a la calidad de la madera y su valor en el mercado (Murillo, *et al* 1994).

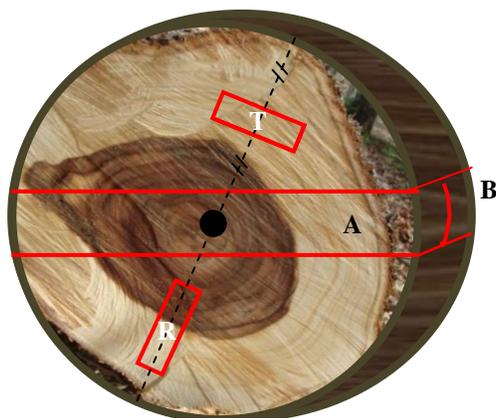
## **Determinación de las características generales y físicas de la madera**

### *Obtención de las muestras*

A partir de las mediciones del diámetro tomados para el estudio de calidad se calculó el promedio por tratamiento para ambas especies. En el campo se seleccionaron aleatoriamente tres árboles por unidad con diámetros cercanos al promedio calculado por tratamiento para cada especie (Moya, *et al* 2003).

De cada árbol seleccionado se obtuvieron discos a 2 metros de altura desde la base del suelo, de 3 cm de espesor aproximadamente. A cada disco se le extrajo una pieza central de aproximadamente 5 cm de ancho en dirección norte-sur, que fue cortada a la mitad transversalmente como se muestra en la Figura 3.

Una de estas piezas fue utilizada para determinar propiedades físicas (A, Figura 3), mientras en la otra se midió únicamente el color (B, Figura 3). Las piezas señalizadas como T y R, permitieron estimar el porcentaje de contracción tangencial y radial respectivamente.



**Figura 3.** Ubicación de las muestras tomadas para analizar propiedades físicas y generales de la madera de las plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

#### *Densidad y contenido de humedad*

La densidad básica se determinó con el volumen verde y su peso seco en muestras de 2 cm desde la médula hasta la corteza. Para determinar el peso y el volumen verde se procedió acorde a la norma ASTM D-2395-02 (ASTM 2003a).

Las muestras fueron secadas en horno a 100 °C por 24 hrs para determinar nuevamente su peso y volumen. A partir de estos datos se calculó el peso específico y la contracción volumétrica. Las dimensiones de las muestras utilizadas para estimar las contracciones radiales y tangenciales fueron determinadas acorde con la norma ASTM D-143-94 (ASTM 2003b).

El contenido de humedad se determinó antes y después del secado y se calculó de acuerdo a la norma D-1442-92 (ASTM, 2003c).

### *Color de la madera*

En una de las piezas centrales se midió el color en la albura y al 100%, 50% y 0% del duramen, usando el colorímetro portátil Miniscan XE Plus en la superficie de cada muestra seca, según la metodología propuesta por Moya R. (Moya; Murillo, 2008). Este mide la reflectancia de planos, sólidos opacos cuando el puerto del instrumento se coloca en la muestra (Hunter Lab, 2009). El espectro reflectante se guardó de acuerdo a la escala estandarizada CIEL\*a\*b., en donde L\*, registra luminosidad del negro (0) al blanco(100), a\* registra de rojo (+) a verde (-), donde un valor de 0 define al color gris, y b\*, registra la transición de amarillo (+) a azul (-). La medición se realizó en el rango visible de 400-700 nm en intervalos de 10 nm con una apertura de medición de 11 nm.

Con el fin de comparar la cercanía del color de las muestras con respecto al color encontrado en la madera proveniente de bosques o áreas abiertas se estimó el  $\Delta E$ , en donde se estima la raíz de las diferencias de los parámetros de color determinados, al cuadrado (entre la muestra de bosque y la muestra del estudio).

### *Límite entre la producción de madera juvenil y madura*

La madera con mayor proporción de duramen tiene mejor aceptación en el mercado, por lo que se determinó el porcentaje de duramen calculando la relación porcentual del diámetro promedio del duramen con el diámetro total del disco. Además se determinó la variación de las propiedades físicas según la distancia desde la médula y su relación por medio de un análisis de regresión.

### *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico se realizó un ANOVA, seguido de una prueba de Tuckey, que permitió determinar diferencias significativas para cada característica general y física entre tratamientos (Anexo 1). En los principios de normalidad se aplicó el procedimiento UNIVARITE y en el análisis de varianza PROC GLM del programa SAS (2001). Antes del análisis de varianza, se transformaron algunas variables con el fin de seguir el principio de distribución normal: el porcentaje de duramen, contracción volumétrica y densidad.

# RESULTADOS

## Capítulo 1. Incremento en área basal.

El comportamiento del área basal para cada tratamiento permitió evaluar la efectividad del crecimiento para cada especie en la plantación mixta hasta el año 2010. Dichos resultados se presentan en las Figuras 4 y 5 para cada una de las especies.

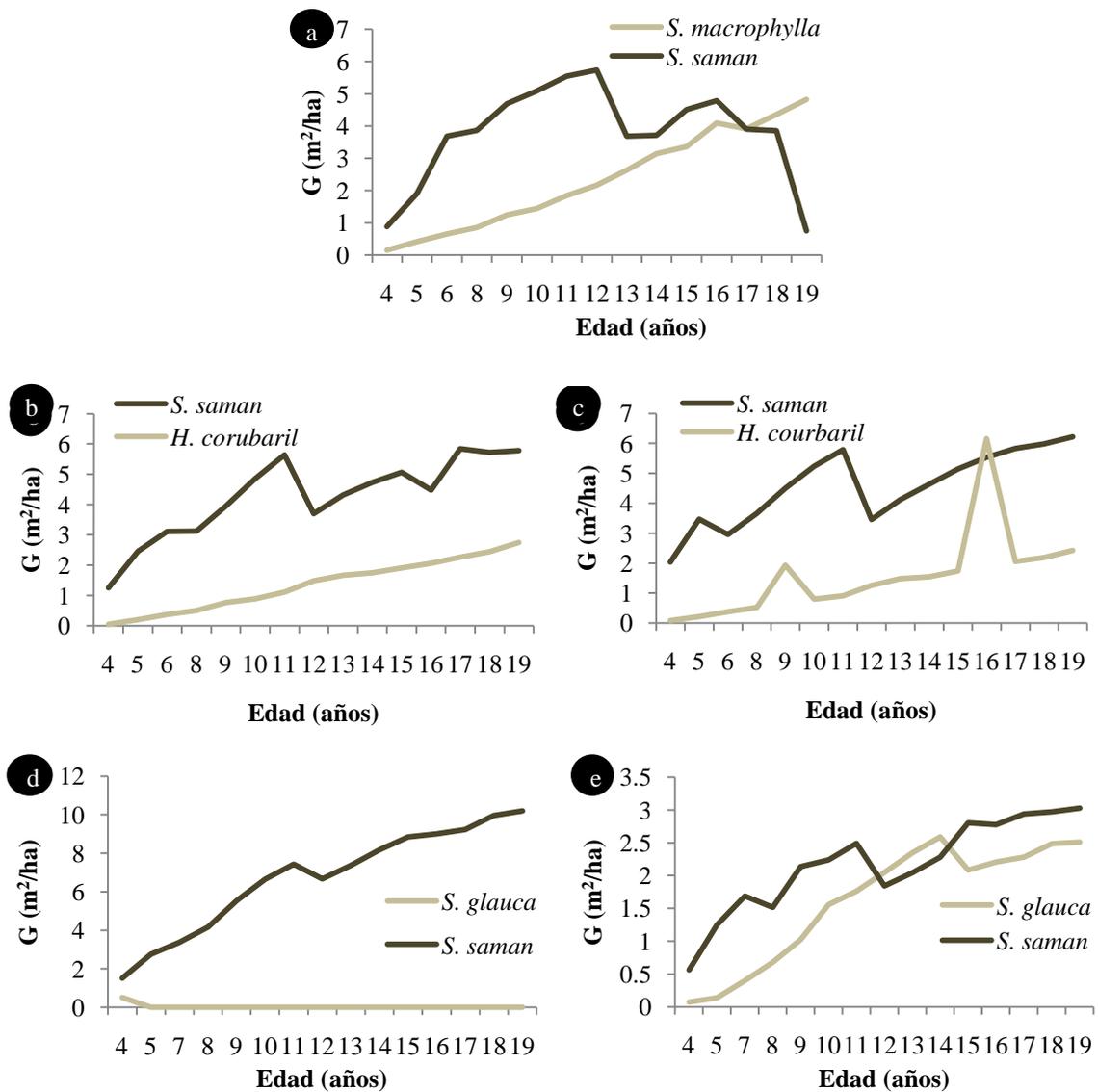


Figura 4. Incremento anual del área basal por hectárea para los tratamientos con la especie *S. saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

*S. saman* mantuvo un incremento regular hasta el año 18 (Figura 4a), en donde el área basal disminuye de 5,74 a 3,68 m<sup>2</sup>/ha, para continuar decreciendo hasta quedar en el último año con un área basal de apenas 0,75 m<sup>2</sup>/ha. En tanto que la especie que lo acompaña, *S. macrophylla* sigue incrementando regularmente desde su establecimiento hasta el año 19, llegando a 4,82 m<sup>2</sup>/ha. El más reciente decaimiento del área basal en *S. saman* se debe a una alta mortalidad asociada al ataque de plagas. De hecho se comprobó por una visita de campo que una gran cantidad de árboles de *S. saman* presentaban una muerte ascendente en dicho ensayo.

Además se determinó un área dentro del ensayo en donde no logró establecerse ninguna de las especies, correspondiente a un cuarto de hectárea, área aproximada en ArcGis (Figura 1); ésta no fue excluida del análisis en la extrapolación de datos, lo que dificulta la valoración de la efectividad del tratamiento.

Se debe destacar que Czarnowski M. (2002) menciona que el suelo en este ensayo es franco-arcilloso-arenoso. La variabilidad en dichas condiciones es una posible causa para las condiciones desfavorables de crecimiento en el micrositio del ensayo en donde no se estableció ninguna de las especies.

Czarnowski M. (2002) encontró niveles bajos de zinc y altos de potasio en el ensayo, lo que pudo haber afectado el crecimiento de *S. macrophylla* (especie que se ve favorecida por la presencia de potasio, cobre y zinc) y el de *S. saman* (favorecido por la presencia de calcio, potasio y zinc).

En la Figura 4b, el incremento promedio en área basal durante el último año para *S. saman* fue apenas de 0,06 m<sup>2</sup> ha/año, mientras que su IMA hasta el año 19 fue de 0,32 m<sup>2</sup>/ha/año, hasta alcanzar 5,78 m<sup>2</sup>/ha en el año 19, esto indica que probablemente ya alcanzó su máximo potencial de desarrollo bajo su condición.

*H. courbaril* (Figura 4b) alcanzó un área basal de 2,74 m<sup>2</sup>/ha, presentó un incremento más o menos constante con un promedio de 0,19 m<sup>2</sup>/ha/año y durante el último año su incremento fue de 0,30 m<sup>2</sup>/ha. El crecimiento de *H. courbaril* pudo haberse visto favorecido por los niveles altos de potasio y los suelos con menor contenido de humus (Czarnowski, 2002).

El IMA en área basal para *S. saman* e *H. courbaril* es de 0,30 y 0,17 m<sup>2</sup>/ha respectivamente, en el tratamiento observado en la Figura 4c. El incremento en el último año para *S. saman* fue de 0,23 m<sup>2</sup>/ha, para *H. courbaril* 0,24 m<sup>2</sup>/ha. Aunque que *S. saman* empezó a disminuir su incremento anual en área basal durante el último año, alcanzó 6,22 m<sup>2</sup>/ha, mientras que *H. courbaril* continuó superando el incremento promedio desde el año 0 al 19.

Los picos de aumentos de área basal en el año 9 y en el 16 (Figura 4c) se asocian a posibles errores en la base de datos debido al comportamiento observado. Las diferencias del comportamiento de las especies entre ensayos con el mismo tratamiento se deben a condiciones del micrositio dado que el material genético utilizado es el mismo.

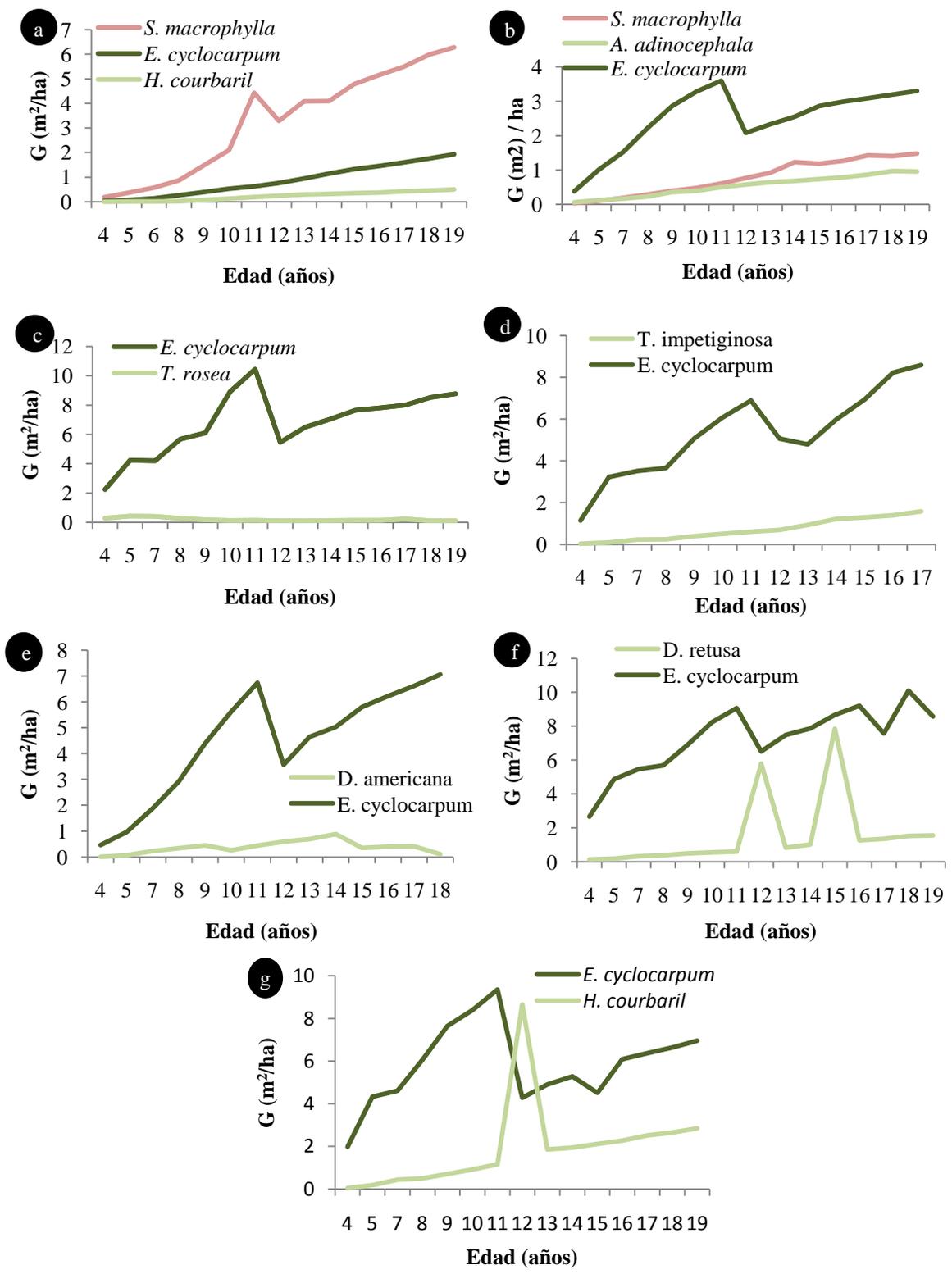
En la Figura 4d se observa que *S. glauca* no logra desarrollarse. El estudio realizado por Czarnowski M. (2002) determina que esta zona se vio mayormente afectada por inundaciones (más asociadas a la textura del suelo que a la pendiente) debido al fenómeno de la Niña, donde las precipitaciones se mantuvieron por periodos más largos a los normales en la zona, lo que afectó la sobrevivencia de la especie.

Por otro lado, *S. saman* sacó ventaja de la baja competencia debido a la mortalidad de su especie acompañante y a que dicha especie no es sensible a la acumulación de agua en el suelo (Czarnowski, 2002), para el año 19 alcanzó un área basal de 10,19 m<sup>2</sup>/ha. Su incremento promedio en área basal desde el año 0 al 19 es 0,65 m<sup>2</sup>/ha y durante el último año su incremento fue de 0,72 m<sup>2</sup>/ha, por lo que se considera que su condición de competencia aun le permite incrementar su área basal favorablemente.

A pesar de tener la mayor área basal de todos los tratamientos con *S. saman*, en este caso se debe considerar que dicha especie creció prácticamente en condición pura, lo que impide evaluar la efectividad del tratamiento como tal.

En el tratamiento observado en la Figura 4e *S. glauca* alcanza un incremento promedio en área basal de 0,17 m<sup>2</sup>/ha y *S. saman* un 0,18 m<sup>2</sup>/ha. En el último año el valor de área basal por hectárea para *S. saman* incrementó 0,03 m<sup>2</sup>/ha y la de *S. glauca* incrementó 0,06 m<sup>2</sup>/ha.

Ambas especies tiene un patrón de crecimiento en área basal y competencia, no obstante parecen estar alcanzando el máximo potencial de crecimiento según el nivel de competencia en el ensayo. Cabe destacar que Czarnowski M (2002) reporta que el sitio del tratamiento observado en la Figura 4e, fue el único donde se encontró un alto nivel de hierro, además de encontrar una correlación negativa del contenido de hierro con el crecimiento de *S. glauca*, lo que puede afectar la evaluación de la efectividad del tratamiento.



**Figura 5.** Incremento anual del área basal por hectárea para los tratamientos con la especie *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

En la Figura 5a, se observa el mayor crecimiento en área basal para *S. macrophylla* (plantada en el 50% del tratamiento), más que el área basal ocupada por *E. cyclocarpum* e *H. courbaril* hay una ventaja notable para la primera.

El menor incremento promedio en área basal fue el de *H. courbaril* (0,035 m<sup>2</sup>/ha), cuyo incremento en el último año fue de 0,04 m<sup>2</sup>/ha y para el año 19 alcanzó un área basal de apenas 0,50 m<sup>2</sup>/ha, mientras que *E. cyclocarpum* con un incremento promedio de 0,13 m<sup>2</sup>/ha y un incremento en el último año de 0,16 m<sup>2</sup>/ha, alcanzó un área basal al año 19 de 1,93 m<sup>2</sup>/ha. Por otro lado, *S. macrophylla* alcanzó 6,28 m<sup>2</sup>/ha, con un promedio de incremento de 0,44 m<sup>2</sup>/ha/año, superior al incremento durante el último año (0,30 m<sup>2</sup>/ha). El incremento en área basal para *E. cyclocarpum* e *H. courbaril* ha sido mayor al promedio en el último año, mientras que *S. macrophylla* su ritmo de crecimiento ha comenzado a disminuir.

En la Figura 5b, donde *E. cyclocarpum* corresponde al 50% del ensayo, se observa que ocupa un área basal mayor a la ocupada por *S. macrophylla* y *A. adinocephala*, quien alcanzó hasta el último año 1,48 m<sup>2</sup>/ha, con un IMA de 0,10 m<sup>2</sup>/ ha/año y cuyo incremento durante el último año fue de 0,75 m<sup>2</sup>/ha, mientras que *A. adinocephala* hasta el presente alcanzó un área basal de 0,96 m<sup>2</sup>/ha, con un incremento promedio de 0,06 m<sup>2</sup>/ha aunque para el último año más bien decreció 0,01 m<sup>2</sup>/ ha. *E. cyclocarpum* alcanzó un área basal de 3,31 m<sup>2</sup>/ha, con un IMA de 0,21 m<sup>2</sup>/ha, pero durante los tres últimos años su promedio de incremento disminuyó a la mitad (0,11 m<sup>2</sup>/ha).

Se debe resaltar que el área basal alcanzada por las tres especies para este tratamiento (Figura 5b) fue de 5,75 m<sup>2</sup>/ha, mientras que el tratamiento en la Figura 5a alcanza un área basal de 8,71 m<sup>2</sup>/ha, por lo que al considerar ambos tratamientos con la mezcla de 3 especies, el primero logra mejores resultados el de la Figura 5a.

No se debe dejar de lado la posible influencia de las condiciones del micrositio, dado que *S. macrophylla* no se ve afectada por la acumulación de agua durante la época lluviosa, mientras que *E. cyclocarpum* sí (Czarnowski, 2002), lo que pudo haber favorecido el crecimiento en dicho tratamiento.

En los tratamientos de *E. cyclocarpum* con *T. rosea* y *T. impetiginosa* (Figuras 5c y 5d), la primera alcanza un área basal para el año 19 de 8,77 m<sup>2</sup>/ha y 8,59 m<sup>2</sup>/ha respectivamente, pero *T. rosea* no logra desarrollarse exitosamente, solo alcanza para el año 19 un área basal de 0,10 mientras que *T. impetiginosa* 1,58 m<sup>2</sup>/ha.

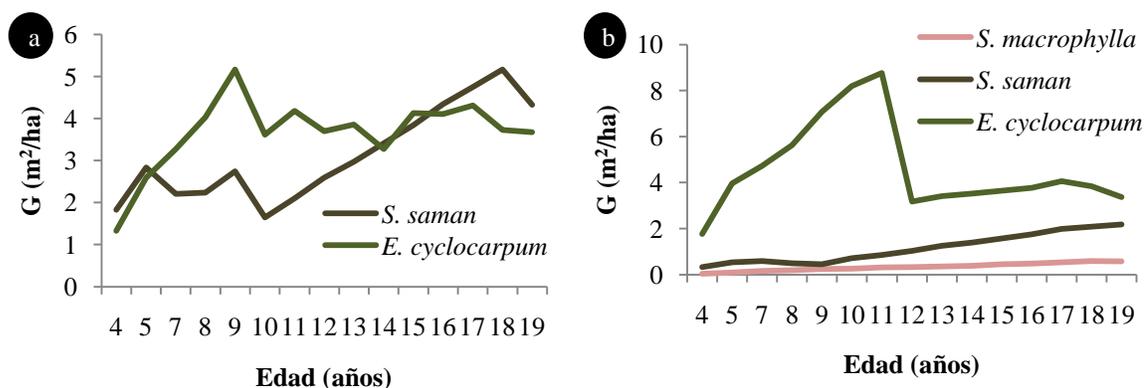
Czarnowski (2002) encuentra que *T. rosea* es la única especie en las plantaciones en estudio que presentó una correlación positiva con el contenido gravimétrico de agua, dicha especie presenta afinidad con los suelos arenosos (debido a su alta porosidad no acumulan el agua por periodos mayores), lo que pudo haber afectado su desarrollo, dado que en el sitio de este ensayo el suelo es arcilloso (Czarnowski, 2002).

*T. impetiginosa* se adaptó mejor (Figura 5d), a pesar de no haberse estudiado su correlación con las propiedades del suelo, se trata de una especie que crece en suelos arenosos, húmedos y bien drenados, además de tener un crecimiento limitado si hay bajo contenido de nutrientes (Salazar; Soihert, 2001). La textura del suelo en este tratamiento fue caracterizado por Czarnowski (2002) como suelo franco, textura equilibrada que pudo haber sido la variable que favoreció el establecimiento y desarrollo de *T. impetiginosa*.

En la Figura 5e, se observa un crecimiento ventajoso para la especie *E. cyclocarpum*, que alcanzó un área basal de 7,07 m<sup>2</sup>/ha, con un IMA de 0,51 m<sup>2</sup>/ha/año y un incremento durante el último año de 0,44 m<sup>2</sup>/ha, no obstante su especie acompañante (*D. americana*) no logró desarrollarse exitosamente, hasta el año 19 acumuló apenas 0,11 m<sup>2</sup>/ha, por lo que probablemente dicha especie no fue competencia para *E. cyclocarpum* durante su desarrollo. En la Figura 5f *E. cyclocarpum* alcanza un área basal de 8,57 m<sup>2</sup>/ha, su IMA fue de 0,42 m<sup>2</sup>/ha, pero en el último año decreció 1,52 m<sup>2</sup>/ha.

*D. retusa* alcanzó un área basal de 1,56 m<sup>2</sup>/ha en el año 19, en donde el incremento para el último año fue de 0,03 cuando su IMA fue de 0,1m<sup>2</sup>/ha. Czarnowski M. (2002) reporta que el crecimiento de *D. retusa*, *D. americana* y *E. cyclocarpum* se ven negativamente afectados por las inundaciones ocasionadas por la influencia del fenómeno de la Niña, el sitio donde se estableció el tratamiento con *D. americana* es una de las zonas más afectadas por la acumulación de agua (Czarnowski, 2002) lo que podría afectar la valoración del ensayo.

En la Figura 5g, *E. cyclocarpum* alcanzó un área basal al año 19 de 6.96 m<sup>2</sup>/ha, con un incremento promedio durante el último año de 0,32 m<sup>2</sup>/ha y menor al IMA estimado de 0,36m<sup>2</sup>/ha. Para *H. courbaril* el valor alcanzado el año 19 fue de 2,85 m<sup>2</sup>/ha, con un IMA de 0,2 m<sup>2</sup>/ha, igual a su incremento durante el último año. Entre los tratamientos con *E. cyclocarpum*, la especie acompañante que logró crecer regularmente y que alcanzó la mayor área basal fue *H. courbaril*, especie que obtuvo un rendimiento muy similar en ambas repeticiones del tratamiento (Figuras 5b y 5c), por lo que se puede tratar de una especie con mejor adaptabilidad en plantaciones mixtas bajo las condiciones evaluadas.



**Figura 6.** Incremento anual del área basal por hectárea para los tratamientos con la mezcla de *S. saman* y *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

En la Figura 6, se muestran los resultados de los tratamientos en donde se mezcló *E. cyclocarpum* y *S. saman*. En la Figura 6a ambas especies sembradas al 50% compiten favorablemente y llegan a alcanzar valores de área basal por hectárea para *S. saman* de 4,33 m<sup>2</sup>/ha y para *E. cyclocarpum* de 3,68 m<sup>2</sup>/ha al año 19. El IMA estimado fue de 3,14 y 3,67 m<sup>2</sup>/ha respectivamente. Ambas variables decrecieron durante el último año, lo que refleja una competencia desfavorable. En la Figura 6b, *E. cyclocarpum* alcanza un área basal de 3,37 m<sup>2</sup>/ha, aunque en el año 11 su área basal fue de 8,76 m<sup>2</sup>/ha, disminuyó abruptamente a 3,18 m<sup>2</sup>/ha un año después y su incremento en los últimos años es cada vez menor.

A pesar de que para el año 11 se realizó un raleo del 50%, en la Figura 6b se observa que el área basal disminuyó en más de un 75%, situación que no parece haber favorecido el crecimiento de la especie. *S. saman* alcanzó obtuvo un IMA de 2,18 m<sup>2</sup>/ha y *D. retusa* 0,58 m<sup>2</sup>/ha.

El mejor rendimiento entre sembrar *S. saman* y *E. cyclocarpum* en el mismo tratamiento o mezcladas con *S. macrophylla*, se obtuvo en el primer caso (Figura 6a), en donde se alcanzó en total 8,01m<sup>2</sup>/ha, mientras que para el tratamiento de la Figura 6b, entre las 3 especies alcanzaron un área basal de 5,75m<sup>2</sup>/ha.

Esto se debe principalmente a que hay una mayor competencia, al tratarse de especies con crecimiento similar.

En todos los ensayos se observó un decrecimiento del área basal por hectárea significativo en el año 11, esto se debe al raleo del 50% que se realizó en ese año( 2002), no obstante en donde el área basal disminuye más del 50% se puede asociar a que el 2002 fue uno de los años con mayor efecto del fenómeno de la Niña (Czarnowski, 2002), lo que provocó inundaciones en algunas zonas o micrositios con mayor susceptibilidad debido a la composición del suelo. Suelos arcillosos pudieron haber acumulado gran cantidad de agua, lo que influyó negativamente en la sobrevivencia de las especies susceptibles al exceso de agua, en especial *E. cyclocarpum*, pues *S. saman* no se ve afectado por dichas condiciones.

## Capítulo 2. Condición silvicultural y su valor en el mercado

### *Condición silvicultural según tratamiento*

En el Cuadro 3 se describe que el mayor número de árboles por hectárea de *S. saman* fue para el ensayo con *S. glauca* (99 árboles/ha) con un diámetro a la altura del pecho de 40,05 cm, la mayor área basal (13,05 m<sup>2</sup>/ha) y el mayor volumen en trozas comerciales (51,83m<sup>3</sup>/ha), lo que se debe a que creció prácticamente en condición pura.

La menor densidad de árboles por hectárea se presenta en el ensayo con mayor diámetro promedio (43,92 cm) y de menor área basal, en el tratamiento que corresponde a la plantación mixta de *S. saman* (50%), *E. cyclocarpum* (25%) y *S. macrophylla* (25%), en donde además la especie principal alcanza la mayor de las alturas (15,76 m).

En este tratamiento (Figura 6b) el desarrollo en diámetro y altura de *S. saman* se ve favorecido por la baja densidad, dado que se ha encontrado una relación favorable del crecimiento con la mayor disponibilidad de luz (OFI/CATIE, 2003) al desarrollarse naturalmente en sitios abiertos. Además presenta el mayor número de trozas comerciales promedio por árbol (4 trozas), es decir, se desarrolló favorablemente en altura, pero presenta el menor volumen en trozas comerciales (21,64 m<sup>3</sup>/ha), esto es debido a que su baja densidad favorece el desarrollo de ramas menos rectas y en mayor cantidad.

El mejor índice de calidad por troza fue de 2,14 en el ensayo plantado con *S. saman* (50%) y *E. cyclocarpum* (50%). Este comportamiento se debe a que las dos especies presentan características de crecimiento similar, al competir inicialmente a mayor densidad lograron desarrollar una mejor forma, en comparación con los ensayos en donde la especie acompañante era de crecimiento lento y representó menor competencia.

Ambos tratamientos con *S. saman* y *S. glauca* (ensayos 13 y 14 en la Figura 1) obtuvieron los peores resultados en cuanto a calidad por troza, esto podría asociarse a la afectación del sitio por inundaciones y a la incidencia de plagas que afecta a *S. saman*.

**Cuadro 4.** Condición silvicultural actual para los tratamientos con la especie *S. saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en de la EEFH, Guanacaste, 2010.

Tratamiento	N	d (cm)	h <sub>T</sub> (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	Tr <sub>com</sub> /árbol	V <sub>com</sub>	I <sub>calidad general</sub>	Í <sub>calidad</sub>
50% <i>S. macrophylla</i>	60	33,94 (±26,77)	14,45	5,80	2,95	23,58	51,12	2,47
50% <i>H. courbaril</i>	78	33,42 (22,42)	14,14	7,17	3,23	28,96	49,94	2,35
50% <i>H. courbaril</i>	69	40,53 (±27,93)	15,37	9,57	3,30	42,58	59,25	2,22
50% <i>E. cyclocarpum</i>	81	37,32 (±21,85)	14,92	9,27	3,56	40,17	62,04	2,14
50% <i>E. cyclocarpum</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	30	43,92 (±17,03)	15,76	4,66	4,00	21,64	58,70	2,24
50% <i>S. glauca</i>	99	40,05 (±21,94)	15,33	13,05	2,73	51,83	20,27	3,39
50% <i>S. glauca</i>	84	35,31 (±15,71)	14,52	8,42	2,18	27,76	11,25	3,66

N: número de árboles / hectárea; d: diámetro a 1, 30 m;; h<sub>T</sub>: altura total; G: área basal; Tr<sub>com</sub> /árbol: trozas comerciales por árbol; V<sub>com</sub>: volumen en trozas comerciales; I<sub>calidad general</sub>: Índice de calidad general por árbol (1 al 100); Í<sub>calidad</sub>: Índice de calidad promedio por troza (1 al 4).

El Cuadro 4 muestra las condiciones silviculturales para los ensayos con la especie *E. cyclocarpum*. La combinación de esta especie con 50% de *D. retusa* presenta el mayor número de individuos por hectárea de *E. cyclocarpum*, a pesar de ello desarrolla el mayor de los diámetros promedio (44,36 cm) y un bajo coeficiente de variación (19,53) con respecto al de las demás unidades. El mismo tratamiento presenta la mayor altura, el mayor volumen en trozas comerciales (82,19 m<sup>3</sup>/ha), un promedio de 4 trozas comerciales por árbol, la mayor calidad por árbol (61.95) y el índice de calidad general por árbol más favorable (2,14).

En el capítulo 1 este ensayo se caracterizó por alcanzar la mayor área basal, *E. cyclocarpum* se vio favorecido por la baja condición de competencia con *D. retusa* o por condiciones específicas del sitio, que podrían estar asociadas a los altos niveles de hierro y potasio encontrados en este ensayo (Czarnowski, 2002), pues alcanzó un área basal cercana a la que alcanzó *S. saman* en condición prácticamente pura en la plantación mixta con *S. glauca*. El nivel de competencia entre individuos de *E. cyclocarpum*, al tener el mayor número de individuos por hectárea, fue favorable considerando que alcanzaron la mayor altura, la mejor calidad y el mayor volumen en trozas comerciales con respecto a los demás ensayos.

**Cuadro 5.** Condición silvicultural actual para los tratamientos con la especie *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Tratamiento	N	d (cm)	h <sub>T</sub> (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	Tr <sub>com</sub> /árbol	V <sub>com</sub>	I <sub>calidad general</sub>	Í <sub>calidad</sub>
25% <i>H. courbaril</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	18	32,3 (±29,58)	15,72	1,58	3,67	7,18	45,33	2,64
50% <i>T. impetiginosa</i>	93	40,55 (±25,47)	16,53	12,76	3,97	61,39	51,84	2,44
25% <i>A. adinocephala</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	93	34,56 (±19,26)	15,74	9,04	3,90	41,25	35,92	2,92
50% <i>D. americana</i>	99	36,63 (±18,88)	16,22	10,79	4,00	50,45	43,41	2,70
50% <i>T. rosea</i>	93	40,58 (±23,16)	16,67	12,65	4,00	60,89	48,10	2,43
50% <i>D. retusa</i>	105	44,36 (±19,53)	17,20	16,83	4,00	82,19	61,95	2,14
50% <i>S. saman</i>	84	29,67 (±22,41)	15,20	6,09	3,50	25,82	43,95	2,68
25% <i>S. macrophylla</i> +25% <i>S. saman</i>	81	36,47 (±28,12)	16,19	9,11	3,74	42,50	49,91	2,50
50% <i>H. courbaril</i>	102	40,70 (±21,04)	16,63	13,84	3,97	66,11	57,88	2,26

N: número de árboles / hectárea; d: diámetro a 1,30 m; h<sub>T</sub>: altura total; G: área basal; Tr<sub>com</sub> /árbol: trozas comerciales por árbol; V<sub>com</sub>: volumen en trozas comerciales; I<sub>calidad general</sub>: Índice de calidad general por árbol (1 al 100); Í<sub>calidad</sub>: Índice de calidad promedio por troza (1 al 4).

### **Condición silvicultural general por especie**

El área basal promedio por hectárea para cada especie en todas las plantaciones mixtas analizadas fue de 5,80 m<sup>2</sup>/ha y 13,84 m<sup>2</sup>/ha para *S. saman* y *E. cyclocarpum* respectivamente. El IMA fue de 1,02 para *S. saman* y 2,44 para *E. cyclocarpum* (Cuadro 5).

El incremento en área basal fue más favorable para *E. cyclocarpum*, esto implica que el manejo silvicultural, el grado de competencia o las condiciones permitió un mejor desarrollo para *E. cyclocarpum*, mientras que en los tratamientos con *S. saman* hubo mayor competencia, lo que no estimuló satisfactoriamente su crecimiento.

**Cuadro 6.** Incremento del área basal por hectárea para *S. saman* y *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

	G (m <sup>2</sup> /ha)	S <sub>x</sub>	IMA (G/ha/año)
<i>S. saman</i>	8,88 (±1,98)	0,57	0,48
<i>E. cyclocarpum</i>	11,39 (±4,35)	0,74	0,61

S<sub>x</sub>: Desviación estándar; G: área basal

El Cuadro 6 muestra un diámetro promedio similar para las dos especies. El coeficiente de variación dentro de las parcelas en ambas especies se considera aceptable (22,77 para *S. saman* y 22,23 para *E. cyclocarpum*) dado que el valor de referencia en plantaciones coetáneas indica que no deben registrarse diferencias mayores a un 25% (Murillo, 2010). El diámetro a la altura del pecho (DAP) permite evaluar la calidad del incremento en diámetro a una determinada edad (en este caso a los 18 años), su variabilidad sirve como indicador de un manejo oportuno de la densidad y la competencia (Murillo, O, 2010). A menor coeficiente de variación del DAP, entre y dentro de las parcelas, mejor manejo de la competencia en la plantación. Por lo tanto, lo anterior indica que la mortalidad dada en las plantaciones no está asociada a una alta densidad de individuos (de la misma especie), no se han dado procesos de autoraleo y es poco probable encontrar individuos en posición sociológica suprimida.

Según Murillo O, (2010) el coeficiente de variación entre parcelas es un indicador de variabilidad en la calidad del sitio o de un manejo de la densidad diferente en sectores dentro de un mismo rodal, este no debe superar un 10% o un 15%, por lo que la variabilidad desde el punto de vista de este análisis no es significativa para ninguna de las dos especies. No obstante, los estudios realizados por Czarnowski M. (2002) para determinar la correlación de las propiedades del suelo con el crecimiento de cada una de las especies en las plantaciones mixtas, demuestra que estas especies si pueden ser sensibles a algunas condiciones ya discutidas en el capítulo 1 y que probablemente estas diferencias entre los sitios son los que producen altos coeficientes de variación.

**Cuadro 7.** Incremento promedio estimado del diámetro por hectárea para *S. saman* y *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

<b>Especie</b>	<b>d (cm)</b>	<b>S<sub>x</sub></b>	<b>CV entre tratamientos</b>	<b>CV dentro de los tratamientos</b>	<b>IMA (cm/año)</b>
<i>S. saman</i>	36,76	1,25	3,39	22,77	1,97
<i>E. cyclocarpum</i>	37,94	1,62	4,26	22,23	2,03

d: diámetro a 1,30 m; S<sub>x</sub>: Desviación estándar; CV: coeficiente de variación; IMA: incremento medio anual

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de las estimaciones de incremento de altura total y altura comercial. *E. cyclocarpum* desarrolló mayor altura que *S. saman*, lo que deja en evidencia que *E. cyclocarpum* ha tenido mejores condiciones de luz y competencia que las que se han de presentado para *S. saman*, o que esta especie se adapta mejor a las condiciones de sitio o que tolera mejor la competencia con otras especies. La altura comercial para *S. saman* fue 9,10 m y 10,47 m para *E cyclocarpum*.

El IMA estimado en altura y diámetro mayor que el IMA encontrado en la literatura para tanto para *S. saman* como para *E. cyclocarpum* (OFI/CATIE, 2003), aunque el IMA referido a distintas no permite una comparación efectiva.

**Cuadro 8.** Incremento promedio estimado de la altura total y comercial por hectárea para *S. saman* y *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Especie	$h_T$ (m)	$S_x$ $H_{total}$	IMA (m/año)	$h_{com}$ (m)	$S_x$ $H_{com}$	IMA (m/año)
<i>S. saman</i>	14,79	0,2	0,79	9,10	0,28	0,49
<i>E. cyclocarpum</i>	16,30	0,22	0,87	10,47	0,31	0,56

$h_T$ : altura total;  $h_{com}$ : altura comerciales por árbol;  $S_x$ : Desviación estándar; IMA: incremento medio anual

En cuanto a los índices de calidad estimados por especie, *S. saman* obtuvo el mayor promedio de calidad por troza, aunque este valor presenta el mayor porcentaje de error, mientras que el índice de calidad general del 1 al 100 por árbol se considera bajo para ambas especies, *E. cyclocarpum* presenta el mayor valor (49,12) con el menor porcentaje de error (Cuadro 8) y 42,31 para *S. saman*, valor que pudo haberse visto afectado por la cantidad de árboles muestreados con indicios de problemas fitosanitarios para *S. saman*.

**Cuadro 9.** Índices de calidad promedio estimados para *S. saman* y *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Especie	$\bar{I}_{calidad}$	$S_x$	$\bar{I}_{calidad\ general}$	$S_x$
<i>S. saman</i>	2,71	0,27	42,31	8,68
<i>E. cyclocarpum</i>	2,51	0,09	49,12	2,94

$\bar{I}_{calidad}$ : Índice de calidad promedio por troza del 1 a 4;  $\bar{I}_{calidad\ general}$ : Índice de calidad por árbol del 1 al 100;  $S_x$ : Desviación estándar

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de las estimaciones de número de árboles por hectárea, número de trozas comerciales por árbol, volumen en trozas comerciales por hectárea, así como el incremento medio anual del volumen estimado por hectárea. La densidad promedio encontrada (para los individuos de la misma especie) fue de 79 árboles/ha para *S. saman* y 94 árboles/ha para *E. cyclocarpum*. En todas las variables mencionadas *E. cyclocarpum* supera a *S. saman*. Esto significa que *E. cyclocarpum* presenta un desarrollo más favorable a nivel de producción de madera en las plantaciones mixtas en estudio o bien, a las condiciones de fertilidad o clima donde fueron establecidas las plantaciones.

**Cuadro 10.** Incremento promedio estimado del volumen comercial por hectárea según número de trozas comerciales y densidad promedio de los individuos de *S. saman* y *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Especie	N	S <sub>x</sub>	T <sub>com</sub> /árbol	S <sub>x</sub>	V (m <sup>3</sup> /ha)	S <sub>x</sub>	IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)
<i>S. saman</i>	79	11,39	2,99	0,20	35,81	2,33	1,92
<i>E. cyclocarpum</i>	94	12,87	3,89	0,06	53,83	3,51	2,88

N: número de árboles / hectárea; Tr<sub>com</sub> /árbol: trozas comerciales por árbol; V<sub>com</sub>: volumen en trozas comerciales; S<sub>x</sub>: Error estándar; IMA: incremento medio anual

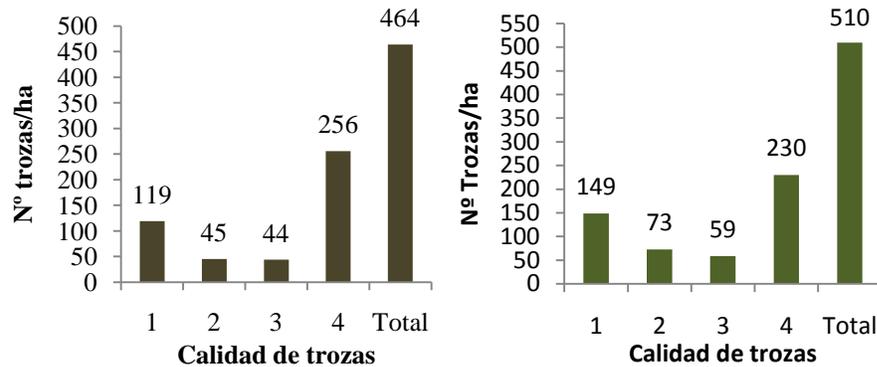
El valor en pie según el volumen comercial encontrado para cada especie (en \$/ha) en el Cuadro 10 muestra que *E. cyclocarpum* presenta el mayor valor (\$17.229/ha), aunque este considera dos parcelas más que las consideradas para *S. saman*. No obstante el porcentaje de error para la estimación de este último es más del doble que el porcentaje de error en la valoración de *E. cyclocarpum*.

**Cuadro 11.** Número de parcelas evaluadas, volumen existente por especie y su valor en el mercado en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

	V <sub>com</sub> (m <sup>3</sup> /ha)	V <sub>com</sub> (PMT/ha)	VR (US \$)/ha	\$/m <sup>3</sup>	N parcelas	S <sub>x</sub> Muestreo (%)
<i>S. saman</i>	35,8	8456	10571	452,53	6	25,47
<i>E. cyclocarpum</i>	53,9	12995	17229	479,92	8	12,60

V<sub>com</sub>: volumen comercial promedio en trozas; VR en pie: Valor real en pie; S<sub>x</sub>: Error estándar

La Figura 7 muestra la distribución de la calidad de trozas para *S. saman*, en donde la mayoría de las trozas se encuentran clasificadas como calidad 4 (55%), seguido por las trozas con calidad 1 (25,6%) y una cantidad menor en las calidades 2 (9,7%) y 3 (9,5%).



**Figura 7.** Distribución de las calidades por troza estimadas por hectárea para *S. saman* (izquierda) y *E. cycloarpum* (derecha) en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

La distribución de las calidades asignadas por troza para *E. cycloarpum* (Figura 7) presentó un mejor comportamiento que el de *S. saman*. La mayor cantidad de trozas/ha se agrupa en las calidades 4 y 1 (con 45% y 29% respectivamente).

El comportamiento de la distribución de calidades deja en evidencia que la cantidad de individuos con problemas fitosanitarios de *S. saman* incide en el resultado de la valoración de calidad para dicha especie.

A pesar de que el manejo de la plantación se considera no muy bueno, dado que no se completó un raleo del 50% hasta el año 11, cabe destacar que esta fue una de las primeras experiencias con plantaciones mixtas de especies nativas no tradicionales, el material genético empleado no fue seleccionado, se utilizaron semillas provenientes de árboles aislados (Gutiérrez, 2010).

Los resultados podrían mejorar significativamente con la selección del material genético y la aplicación de podas y raleos en los primeros años de edad, su crecimiento posiblemente habría sido mayor y el punto de inmersión morfológica para estas especies habría sido a una mayor altura, dejando trozas libres de nudos de más de 2 metros de largo.

## Capítulo 3. Características generales y físicas de la madera

### Características generales

#### a. Promedios generales

En el Cuadro 11 se muestran los promedios de las características generales para los árboles de *S. saman* en las diferentes plantaciones mixtas analizadas. El mayor diámetro total promedio se da en la plantación compuesta por un 50% *S. saman*, 25% *E. cyclocarpum* y 25% *S. macrophylla*, también con el mayor diámetro total promedio encontrado en el capítulo 1, no obstante este es significativamente igual que los diámetros desarrollados en las plantaciones de *S. saman* (50%) con *E. cyclocarpum* (50%) y de *S. saman* (50%) con *S. glauca* (50%) (ver Figuras 6a y 4d). Los demás tratamientos dieron resultados significativamente diferentes a éste, y no fueron los mejores en cuanto al desarrollo de diámetro.

El espesor de corteza (Cuadro 11) no varía significativamente según el tratamiento para esta especie; de igual manera la excentricidad de la médula no presenta diferencias significativas entre tratamientos.

Para *E. cyclocarpum* (Cuadro 11), el mayor diámetro se encuentra en el tratamiento al 50% con *D. retusa* ( $45,12 \pm 2,07$ ) que además es el único con diferencias significativas con respecto a los demás (Figura 5f). Presenta también el mayor diámetro de duramen (24,50 cm) aunque este no es significativamente diferente al encontrado para el ensayo de *E. cyclocarpum* (50%) con *D. americana* (50%) (Figura 5e) ni para el de *E. cyclocarpum* (50%) con *D. retusa* (50%) (Figura 5f). El espesor de corteza no varía significativamente entre tratamientos, y el mayor también es para el ensayo al 50% *D. retusa*, con un valor de excentricidad de 17,02, estadísticamente igual en todos los tratamientos (Cuadro 11).

**Cuadro 12.** Características generales de la madera de *S. saman* y *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

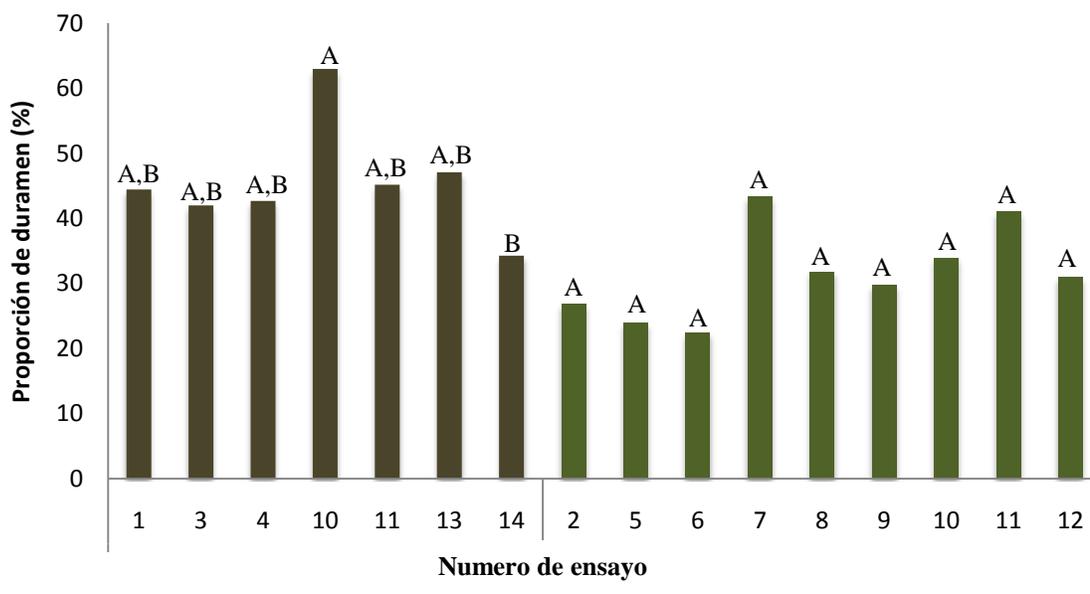
	Tratamiento	d (cm)	d <sub>sc</sub> (cm)	d <sub>du</sub> (cm)	b (cm)	X (%)
50% <i>S. saman</i> +	50% <i>S. macrophylla</i>	31,17 <sup>B,C,D</sup> (±0,94)	28,95 <sup>B,C</sup> (±0,69)	20,28 <sup>B,C</sup> (±3,83)	1,11 <sup>A</sup> (±0,12)	20,10 <sup>A</sup> (±10,86)
	50% <i>H. courbaril</i>	30,23 <sup>D,C</sup> (±2,95)	28,22 <sup>C</sup> (±3,20)	19,65 <sup>B,C</sup> (±2,54)	1,01 <sup>A</sup> (±0,17)	29,44 <sup>A</sup> (±13,44)
	50% <i>H. courbaril</i>	30,62 <sup>D,C</sup> (±0,35)	28,30 <sup>B,C</sup> (±0,38)	19,90 <sup>B,C</sup> (±1,76)	1,16 <sup>A</sup> (±0,19)	27,48 <sup>A</sup> (±16,36)
	50% <i>E. cyclocarpum</i>	35,92 <sup>A,B</sup> (±1,82)	34,22 <sup>A</sup> (±1,89)	28,18 <sup>A</sup> (±1,85)	0,85 <sup>A</sup> (±0,12)	25,40 <sup>A</sup> (±15,05)
	25% <i>E. cyclocarpum</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	37,90 <sup>A</sup> (±2,21)	35,78 <sup>A</sup> (±1,55)	25,40 <sup>A,B</sup> (±0,88)	1,06 <sup>A</sup> (±0,34)	12,42 <sup>A</sup> (±2,36)
	50% <i>S. glauca</i>	35,05 <sup>ABC</sup> (±1,79)	33,25 <sup>B,A</sup> (±1,85)	24,08 <sup>A,B</sup> (±3,09)	0,90 <sup>A</sup> (±0,07)	16,94 <sup>A</sup> (±14,00)
	50% <i>S. glauca</i>	29,38 <sup>D</sup> (±1,46)	27,35 <sup>C</sup> (±1,39)	17,18 <sup>C</sup> (±2,15)	1,02 <sup>A</sup> (±0,14)	14,35 <sup>A</sup> (±11,39)
	<b>Promedio</b>	<b>32,90 (±3,42)</b>	<b>30,87 (±3,42)</b>	<b>22,10 (±4,11)</b>	<b>1,02 (±0,18)</b>	<b>20,88 (±12,05)</b>
50% <i>E. cyclocarpum</i> +	25% <i>H. courbaril</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	31,08 <sup>B</sup> (±5,37)	29,55 <sup>B</sup> (±5,17)	16,20 <sup>B</sup> (±4,63)	0,77 <sup>A</sup> (±0,13)	22,55 <sup>A</sup> (±9,73)
	50% <i>T. impetiginosa</i>	32,23 <sup>B</sup> (±0,08)	30,53 <sup>B</sup> (±0,32)	15,70 <sup>B</sup> (±0,83)	0,85 <sup>A</sup> (±0,13)	18,50 <sup>A</sup> (±10,28)
	25% <i>A. adinocephala</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	34,38 <sup>B</sup> (±1,59)	32,75 <sup>A,B</sup> (±1,17)	16,10 <sup>B</sup> (±0,62)	0,82 <sup>A</sup> (±0,22)	18,54 <sup>A</sup> (±17,65)
	50% <i>D. americana</i>	35,90 <sup>B</sup> (±2,22)	34,32 <sup>A,B</sup> (±2,25)	23,25 <sup>A</sup> (±1,65)	0,79 <sup>A</sup> (±0,15)	11,56 <sup>A</sup> (±2,58),
	50% <i>T. rosea</i>	33,00 <sup>B</sup> (±0,89)	31,47 <sup>B</sup> (±0,75)	18,55 <sup>A,B</sup> (±1,00)	0,77 <sup>A</sup> (±0,12)	8,23 <sup>A</sup> (±3,63)
	50% <i>D. retusa</i>	45,12 <sup>A</sup> (±2,07)	43,05 <sup>A</sup> (±2,32)	24,50 <sup>A</sup> (±1,72)	1,03 <sup>A</sup> (±0,15)	17,02 <sup>A</sup> (±12,65)
	50% <i>S. saman</i>	35,55 <sup>B</sup> (±2,21)	34,13 <sup>A,B</sup> (±2,05)	20,70 <sup>A,B</sup> (±1,61)	0,71 <sup>A</sup> (±0,14)	17,88 <sup>A</sup> (±7,14)
	25% <i>S. macrophylla</i> +25% <i>S. saman</i>	36,33 <sup>B</sup> (±1,12)	34,73 <sup>A,B</sup> (±1,03)	22,58 <sup>A</sup> (±1,77)	0,80 <sup>A</sup> (±0,16)	11,71 <sup>A</sup> (±5,22)
	50% <i>H. courbaril</i>	34,57 <sup>B</sup> (±1,25)	33,08 <sup>A,B</sup> (±1,17)	19,22 <sup>A,B</sup> (±2,07)	0,74 <sup>A</sup> (±0,09)	15,67 <sup>A</sup> (±12,29)
	<b>Promedio</b>	<b>35,35(±4,27)</b>	<b>33,74(±4,12)</b>	<b>19.64(±3,56)</b>	<b>0,81(±0,15)</b>	<b>15,74(±9,26)</b>

d<sub>T</sub>: diámetro total, d<sub>sc</sub>: diámetro sin corteza, d<sub>d</sub>: diámetro del duramen, b: espesor de corteza, X: excentricidad.

Los porcentajes de duramen para *S. saman* en las plantaciones mixtas con 50% de *E. cyclocarpum* (Figura 9, tratamiento 10) y con un 50% de *S. glauca* (Figura 9, tratamiento 14) son significativamente diferentes entre sí pero no entre los demás tratamientos, el primero presenta el mayor valor y el segundo el menor valor para la especie.

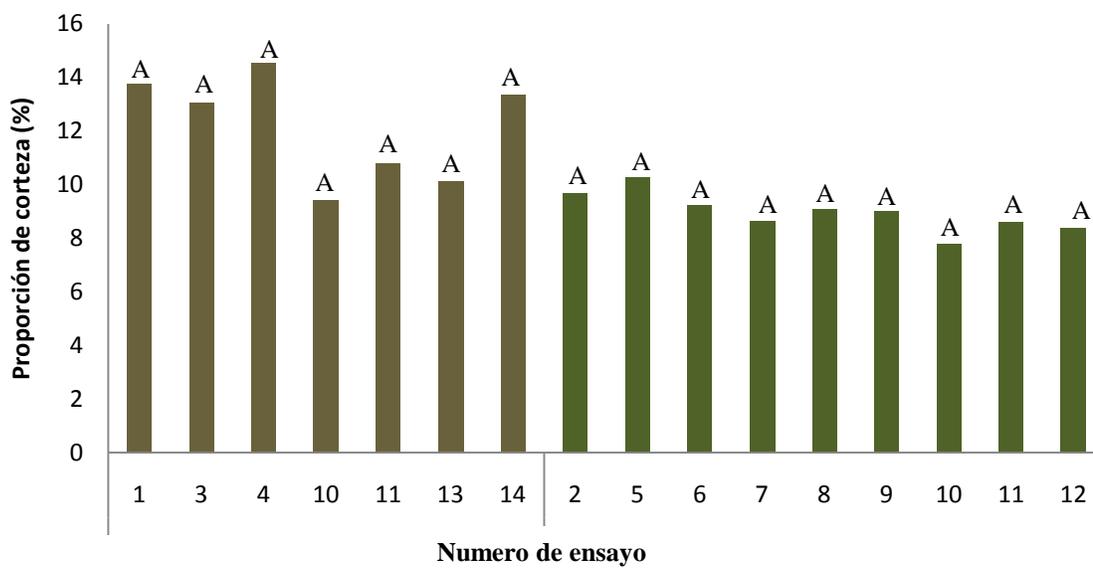
En el porcentaje de duramen para *E. cyclocarpum* no hay diferencias significativas entre tratamientos, pero como se observa en la Figura 9, esta especie presenta menores porcentajes de duramen que *S. saman*. En los tratamientos 7 (50% *D. americana*) y 11 (25% *S. macrophylla* + 25%*S. saman*) se encuentran los mayores valores para duramen de *E. cyclocarpum*.

En el tratamiento 10 fue donde se desarrolló el mayor porcentaje de duramen en *S. saman*, a mayor porcentaje de duramen, mejor aceptación tendrá la madera en el mercado. El factor competencia con una especie de ritmo de crecimiento similar, parece favorecer el desarrollo del duramen de *S. saman* en dicho ensayo.



**Figura 8.** Proporción de duramen en madera de *S. saman* (izquierda) y *E. cyclocarpum* (derecha) proveniente de ensayos de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

En cuanto a la proporción de corteza (Figura 10), no se observan diferencias significativas entre las diferentes plantaciones mixtas para ninguna de las especies. No obstante en todos los tratamientos *S. saman* desarrolla mayor porcentaje de corteza en relación con *E. cyclocarpum* (Figura 10), con un promedio de 12,14% y 8,95% respectivamente.



**Figura 9.** Proporción de corteza en madera de *S. saman* (izquierda) y *E. cyclocarpum* (derecha) proveniente de ensayos de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

*b. Color de la madera*

En el Cuadro 12 se observan los parámetros de color obtenidos para *S. saman*. En el caso de la madera de duramen, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para parámetro L\*, ni para a\*, pero si para b\*, en donde el ensayo al 50% *S. glauca* (Figura 4e) es significativamente diferente al tratamiento con 25% *E. cyclocarpum* + 25% *S. macrophylla*, a mayor valor de b\* más amarillo es el tono, por lo que el primer tratamiento es más favorable (23,44 ±1,02) que el segundo, con el valor del parámetro b\* más alto y significativamente diferente a los demás. El valor del parámetro L\* promedio es 63,71, y el de a\* es 7,33. Para la albura, ninguno de los parámetros presenta diferencias significativas entre tratamientos. Los valores de L\*, a\* y b\* en la albura son en promedio 79,78, 2,54 y 25,93 respectivamente.

**Cuadro 13.** Parámetros de color para la madera de *S. saman* y *E. cyclocarpum* proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

	Tratamiento	Duramen			Albura		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
50% <i>S. saman</i> +	50% <i>S. macrophylla</i>	65,02 <sup>A</sup> (±4,78)	7,65 <sup>A</sup> (±1,65)	20,47 <sup>A,B</sup> (±0,89)	79,85 <sup>A</sup> (±4,43)	2,55 <sup>A</sup> (±1,54)	20,65 <sup>A</sup> (±1,38)
	50% <i>H- courbaril</i>	63,92 <sup>A</sup> (±2,52)	6,98 <sup>A</sup> (±0,88)	20,62 <sup>A,B</sup> (±1,73)	79,62 <sup>A</sup> (±5,94)	2,47 <sup>A</sup> (±1,51)	22,62 <sup>A</sup> (±0,69)
	50% <i>H- courbaril</i>	62,75 <sup>A</sup> (±3,73)	7,90 <sup>A</sup> (±0,93)	20,03 <sup>A,B</sup> (±3,06)	82,11 <sup>A</sup> (±0,67)	2,44 <sup>A</sup> (±0,12)	21,96 <sup>A</sup> (±1,46)
	50% <i>E. cyclocarpum</i>	60,36 <sup>A</sup> (±6,38)	7,22 <sup>A</sup> (±2,20)	21,72 <sup>A,B</sup> (2,99)	78,11 <sup>A</sup> (±3,26)	2,12 <sup>A</sup> (±1,18)	24,39 <sup>A</sup> (±4,33)
	25% <i>E. cyclocarpum</i> +25% <i>S.macrophylla</i>	64,04 <sup>A</sup> (±1,59)	7,73 <sup>A</sup> (±0,24)	19,17 <sup>B</sup> (0,97)	80,18 <sup>A</sup> (±0,79)	3,16 <sup>A</sup> (±0,27)	18,97 <sup>A</sup> (1,52)
	50% <i>S. glauca</i>	65,08 <sup>A</sup> (±3,24)	7,04 <sup>A</sup> (±0,63)	20,5 <sup>A,B</sup> (±2,48)	77,79 <sup>A</sup> (±3,15)	2,71 <sup>A</sup> (±0,95)	22,59 <sup>A</sup> (±5,48)
	50% <i>S. glauca</i>	64,81 <sup>A</sup> (±3,11)	6,79 <sup>A</sup> (±0,93)	23,44 <sup>A</sup> (±1,02)	80,80 <sup>A</sup> (±3,98)	2,37 <sup>A</sup> (±0,84)	25,93 <sup>A</sup> (±2,49)
	Promedio	63,71(±3,63)	7,33(±1,10)	20,85(±2,17)	79,78(±3,35)	2,54(±0,93)	22,44(±3,30)
50% <i>E. cyclocarpum</i> +	25% <i>H. courbaril</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	60,44 <sup>A,B</sup> (±2,60)	6,93 <sup>B</sup> (±0,32)	23,5 <sup>A</sup> (±0,44)	82,48 <sup>A</sup> (±1,12)	0,98 <sup>A</sup> (±0,47)	20,2 <sup>A</sup> (±0,68)
	50% <i>T. impetiginosa</i>	56,12 <sup>A,B</sup> (±0,85)	8,27 <sup>A,B</sup> (±0,57)	21,08 <sup>A</sup> (±1,65)	76,62 <sup>A</sup> (±5,15)	1,45 <sup>A</sup> (±0,26)	17,04 <sup>A</sup> (±3,43)
	25% <i>Albizia adinocephala</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	58,57 <sup>A,B</sup> (±7,73)	7,05 <sup>B</sup> (±0,98)	23,33 <sup>A</sup> (±1,45)	82,26 <sup>A</sup> (±2,45)	1,18 <sup>A</sup> (±0,26)	20,56 <sup>A</sup> (±1,41)
	50% <i>D. americana</i>	54,36 <sup>B</sup> (±5,47)	7,72 <sup>A,B</sup> (±0,53)	22,94 <sup>A</sup> (±2,07)	75,26 <sup>A</sup> (±7,91)	1,04 <sup>A</sup> (±0,59)	19,70 <sup>A</sup> (±1,17)
	50% <i>T. rosea</i>	57,03 <sup>A,B</sup> (±1,23)	8,86 <sup>A</sup> (±0,81)	20,93 <sup>A</sup> (±1,56)	78,56 <sup>A</sup> (±1,06)	1,55 <sup>A</sup> (±0,54)	16,90 <sup>A</sup> (±2,12)
	50% <i>D. retusa</i>	56,74 <sup>A,B</sup> (±4,56)	8,27 <sup>A,B</sup> (±0,97)	20,39 <sup>A</sup> (±3,29)	81,67 <sup>A</sup> (±2,80)	1,34 <sup>A</sup> (±0,94)	20,48 <sup>A</sup> (±2,04)
	50% <i>S. saman</i>	63,86 <sup>A</sup> (±4,97)	7,87 <sup>A,B</sup> (±1,81)	21,92 <sup>A</sup> (±0,90)	84,25 <sup>A</sup> (±0,87)	1,10 <sup>A</sup> (±0,44)	18,64 <sup>A</sup> (±3,05)
	25% <i>S. macrophylla</i> +25% <i>S. saman</i>	57,27 <sup>A,B</sup> (±2,14)	8,29 <sup>A,B</sup> (±0,90)	20,35 <sup>A</sup> (±0,53)	83,08 <sup>A</sup> (±1,30)	1,19 <sup>A</sup> (±0,21)	17,40 <sup>A</sup> (±1,26)
	50% <i>H. courbaril</i>	52,98 <sup>B</sup> (±2,51)	7,62 <sup>A,B</sup> (±1,51)	21,28 <sup>A</sup> (±0,33)	79,00 <sup>A</sup> (±3,68)	1,33 <sup>A</sup> (±0,20)	21,96 <sup>A</sup> (±2,02)
	Promedio	57,49(±4,64)	7,87(±1,05)	21,75(±1,80)	80,35(±4,27)	1,24(±0,45)	19,21(±2,45)

L\* luminosidad del negro (0) al blanco(100), a\* rojo (+) a verde (-), 0=gris, b\* amarillo (+) a azul (-).

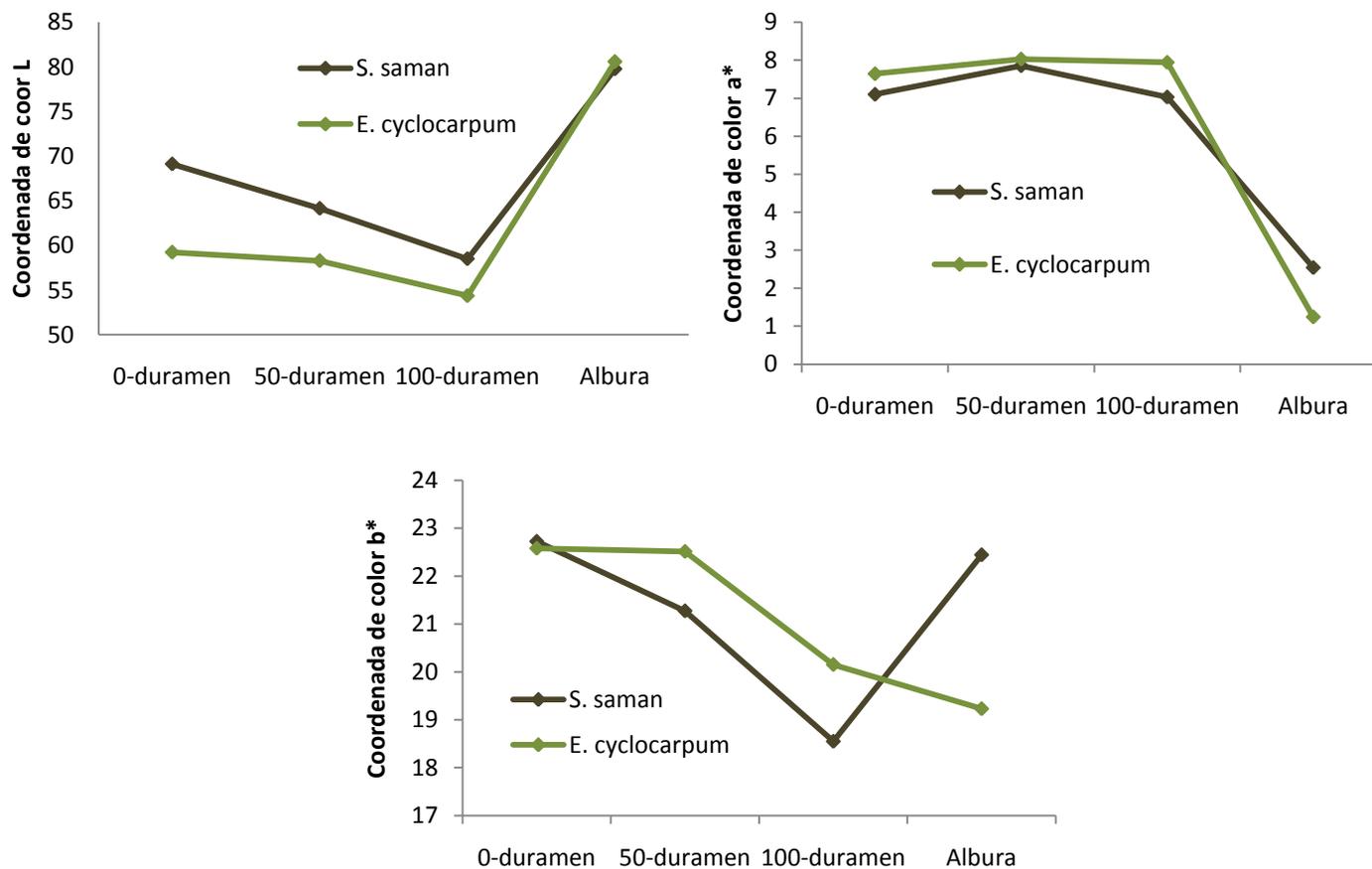
*E. cyclocarpum* (Cuadro 12) presenta el mayor valor de  $L^*$  en el duramen en el tratamiento 50% *S. saman*, pero este sólo es significativamente diferente al ensayo con 50% *D. americana*, que presenta el menor valor. Ambos son estadísticamente iguales con respecto a los demás tratamientos. En el parámetro  $a^*$  el mayor valor está en el tratamiento al 50% *T. rosea*, significativamente diferente a los dos con los menores valores. El tratamiento con 25% *H. courbaril* + 25% *S. macrophylla* presenta el menor valor de  $a^*$  y el mayor valor de  $b^*$ . En el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las variables en la albura.

*c. Variación del color con la distancia de la médula*

La Figura 10 muestra la variación del color según la distancia de la médula, en donde el valor  $L^*$  para luminosidad disminuye desde la médula hasta el 100% del duramen, es decir que la madera se vuelve cada vez más oscura, pero los valores en la albura son muy semejantes y como es de esperarse, mucho más claro que el duramen.

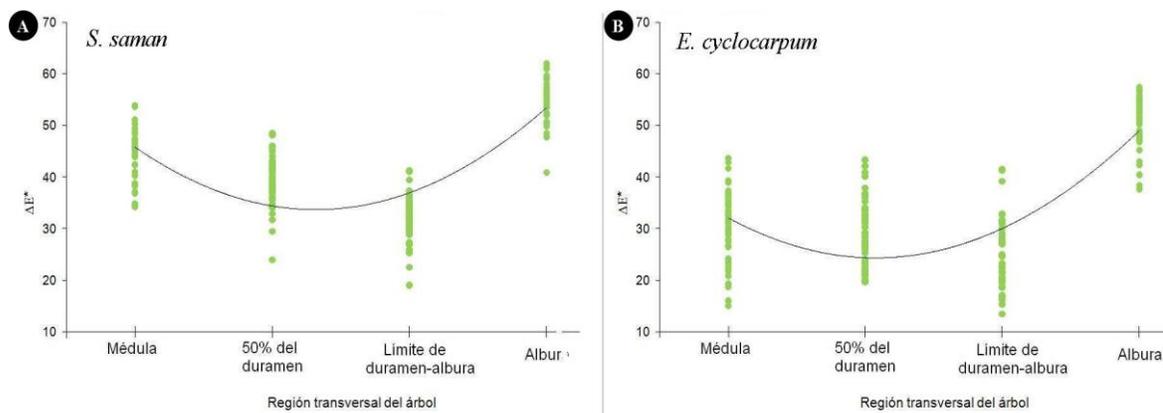
Para el parámetro de color  $a^*$ , de rojo (+) a verde (-) los valores se mantienen más o menos constantes conforme se aleja de la médula, denota los tonos rojizos de la madera, mientras que la albura se pudo haber visto afectada por el ataque de un hongo por mal manejo del exceso de humedad antes de secar las muestras, lo que explica la tendencia al eje x, donde 0 denota el color gris. El valor del parámetro  $c^*$ , demuestra que el tono de amarillo varía poco desde la médula hasta la albura.

El color natural de la madera depende de la edad del árbol, la anatomía de la madera, la composición química de la pared celular y el plano del corte (transversal, radial o tangencial) y es asociado con la calidad y el contenido de lignina y extractivos (Villegas, 2005), de manera que en maderas blancas se encuentran en la menor cantidad. Además la alta densidad de las especies se asocia con mayor oscuridad de la madera (Villegas, 2005). Por tanto, la edad y la densidad de las maderas en este caso influyen positivamente en el desarrollo de parámetros de color más favorables o aceptables en el mercado (colores más oscuros).



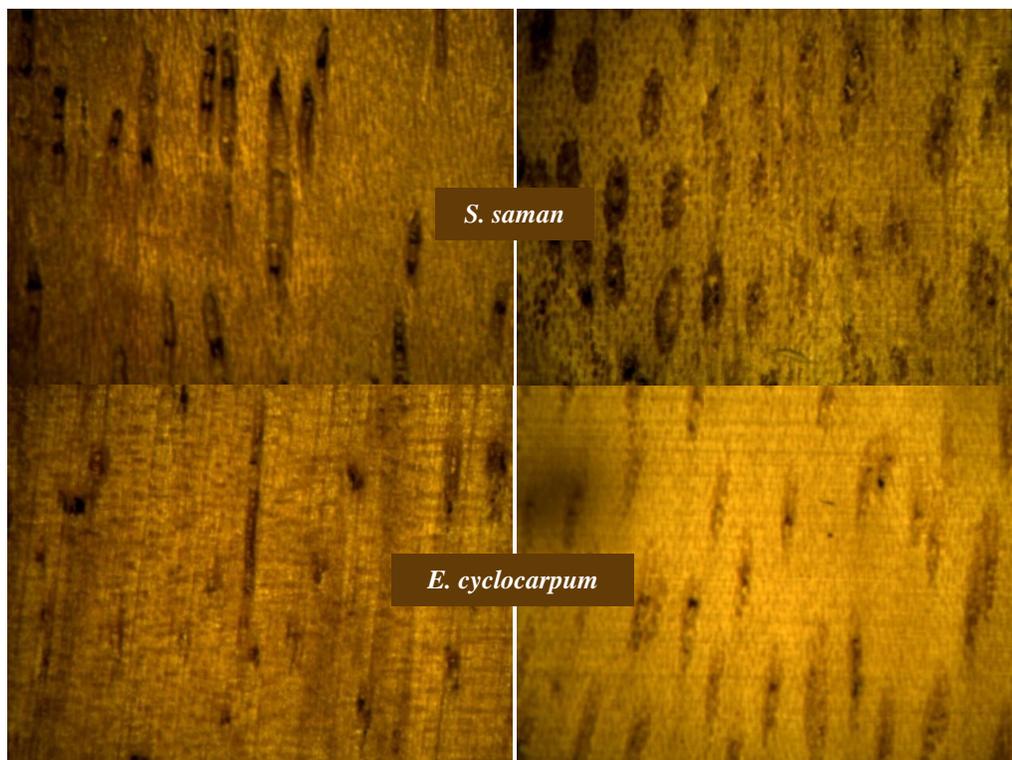
**Figura 10.** Variación del color con la distancia de la médula en madera de *S. saman* y *E. cyclocarpum* proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Para conocer la cercanía del color encontrado en las muestras para ambas especies con respecto al color de la madera proveniente de bosque, se comparó gráficamente el valor del  $\Delta E$ . En la Figura 7 se observa que el  $\Delta E$  en *S. saman* disminuye hacia el 100% del duramen, es decir se oscurece, conforme aumenta la edad, el patrón es muy parecido con respecto al  $\Delta E$  de la muestra de bosque. No así para *E. cyclocarpum*, cuyo valor del  $\Delta E$  a 50% del duramen es mayor con respecto al de la muestra. Aún cuando éste es más oscuro en el límite del duramen y la albura, la diferencia con respecto a los valores en la médula no es muy notable para esta especie.



**Figura 11.** Variación del color en la madera de *S. saman* y *E. cyclocarpum* provenientes de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, con respecto al color de la madera proveniente de bosque natural, Guanacaste, 2010.

En la figura 12 se pueden apreciar en fotografías de cortes tangenciales, las diferencias en una vista de baja resolución de la madera proveniente de bosque con respecto a la obtenida en las plantaciones mixtas. Tanto para *S. saman* como para *E. cyclocarpum*, se observa una mayor cantidad de poros en la madera proveniente de las plantaciones mixtas; esto debido a que en las plantaciones desde el inicio el nivel de competencia promueve un crecimiento más acelerado, lo que trae como consecuencia una menor densidad de madera.



**Figura 12.** Muestras del color de la madera de *S. saman* y *E. cyclocarpum* provenientes de bosque natural (izquierda) y de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH (derecha), Guanacaste, 2010.

## Características físicas

### *a. Promedios generales*

Las variables de las maderas de peso específico básico, contenido de humedad verde, contracción volumétrica, densidad madera, contracción radial y contracción tangencial no presentaron diferencias significativas entre tratamientos con *S. saman* (Cuadro 13).

El promedio del PEB encontrado para esta especie es 0,48, el valor reportado en la literatura es ente 0,42 y 0,64 (OFI / CATIE. 2003).

**Cuadro 14.** Propiedades físicas de la madera de *S. saman* y *E. cyclocarpum* según tratamiento, en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

	Tratamiento	PEB	CH	Densidad	Contracción		
					v	r	t
50% <i>S. saman</i> +	50% <i>S. macrophylla</i>	0,478 <sup>A</sup> (±0,04)	99,23 <sup>A</sup> (±37,20)	0,95 <sup>A</sup> (±0,14)	6,27 <sup>A</sup> (±1,20)	2,76 <sup>A</sup> (±0,53)	3,72 <sup>A</sup> (±0,62)
	50% 50% <i>H. courbaril</i>	0,51 <sup>A</sup> (±0,04)	101,98 <sup>A</sup> (±26,18)	1,03 <sup>A</sup> (±0,11)	6,59 <sup>A</sup> (±1,10)	3,47 <sup>A</sup> (±0,70)	4,64 <sup>A</sup> (±0,51)
	50% 50% <i>H. courbaril</i>	0,50 <sup>A</sup> (±0,05)	100,00 <sup>A</sup> (±36,67)	0,99 <sup>A</sup> (±0,14)	6,93 <sup>A</sup> (±1,41)	2,85 <sup>A</sup> (±0,54)	4,94 <sup>A</sup> (±1,70)
	50% <i>E. cyclocarpum</i>	0,45 <sup>A</sup> (±0,05)	124,33 <sup>A</sup> (±48,72)	0,98 <sup>A</sup> (±0,13)	6,33 <sup>A</sup> (±1,32)	2,51 <sup>A</sup> (±0,46)	3,80 <sup>A</sup> (±0,86)
	25% <i>E. cyclocarpum</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	0,48 <sup>A</sup> (±0,05)	102,69 <sup>A</sup> (±38,70)	0,96 <sup>A</sup> (±0,13)	6,75 <sup>A</sup> (±1,34)	2,92 <sup>A</sup> (±0,53)	3,06 <sup>A</sup> (±1,16)
	50% <i>S. glauca</i>	0,49 <sup>A</sup> (±0,06)	105,34 <sup>A</sup> (±37,49)	1,01 <sup>A</sup> (±0,11)	6,44 <sup>A</sup> (±1,09)	2,81 <sup>A</sup> (±0,47)	4,00 <sup>A</sup> (±0,15)
	50% <i>S. glauca</i>	0,50 <sup>A</sup> (±0,04)	102,10 <sup>A</sup> (±29,84)	1,00 <sup>A</sup> (±0,12)	6,52 <sup>A</sup> (±1,15)	2,23 <sup>A</sup> (±0,71)	4,40 <sup>A</sup> (±0,88)
	<b>Promedio</b>	<b>0,486 (±0,05)</b>	<b>105,54 (±38,05)</b>	<b>0,99 (±0,13)</b>	<b>6,55 (±1,25)</b>	<b>2,79 (±0,58)</b>	<b>4,08 (±0,98)</b>
50% <i>E. cyclocarpum</i> +	25% <i>H. courbaril</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	0,31 <sup>A</sup> (±0,04)	149,79 <sup>A</sup> (±69,76)	2,91 <sup>A</sup> (±1,20)	0,80 <sup>A</sup> (±0,28)	1,10 <sup>A</sup> (±0,74)	2,84 <sup>A</sup> (±0,41)
	50% <i>T. impetiginosa</i>	0,31 <sup>A</sup> (±0,03)	138,29 <sup>A</sup> (±72,78)	3,25 <sup>A</sup> (±1,09)	0,76 <sup>A</sup> (±0,26)	2,20 <sup>A</sup> (±0,51)	3,18 <sup>A</sup> (±0,10)
	25% <i>A. adinocephala</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	0,34 <sup>A</sup> (±0,05)	125,66 <sup>A</sup> (±55,72)	3,63 <sup>A</sup> (±1,16)	0,82 <sup>A</sup> (±0,23)	1,17 <sup>A</sup> (±0,90)	3,28 <sup>A</sup> (±0,80)
	50% <i>D. americana</i>	0,37 <sup>A</sup> (±0,07)	130,28 <sup>A</sup> (±64,13)	3,80 <sup>A</sup> (±1,17)	0,86 <sup>A</sup> (±0,23)	2,07 <sup>A</sup> (±0,82)	3,71 <sup>A</sup> (±0,26)
	50% <i>T. rosea</i>	0,31 <sup>A</sup> (±0,04)	122,54 <sup>A</sup> (±66,70)	2,88 <sup>A</sup> (±0,85)	0,76 <sup>A</sup> (±0,27)	1,20 <sup>A</sup> (±0,10)	3,61 <sup>A</sup> (±0,36)
	50% <i>D. retusa</i>	0,33 <sup>A</sup> (±0,06)	107,77 <sup>A</sup> (±57,84)	3,63 <sup>A</sup> (±1,17)	0,70 <sup>A</sup> (±0,26)	1,95 <sup>A</sup> (±1,19)	4,52 <sup>A</sup> (±0,11)
	50% <i>S. saman</i>	0,33 <sup>A</sup> (±0,03)	119,53 <sup>A</sup> (±71,07)	5,26 <sup>A</sup> (±1,23)	0,72 <sup>A</sup> (±0,24)	1,97 <sup>A</sup> (±0,72)	3,91 <sup>A</sup> (±1,95)
	25% <i>S. macrophylla</i> +25% <i>S. saman</i>	0,35 <sup>A</sup> (±0,05)	134,95 <sup>A</sup> (±70,53)	3,32 <sup>A</sup> (±0,92)	0,84 <sup>A</sup> (±0,27)	1,97 <sup>A</sup> (±0,63)	3,46 <sup>A</sup> (±0,21)
	50% <i>H. courbaril</i>	0,38 <sup>A</sup> (±0,06)	111,55 <sup>A</sup> (±55,09)	2,91 <sup>A</sup> (±0,92)	0,83 <sup>A</sup> (±0,25)	2,14 <sup>A</sup> (±0,55)	3,55 <sup>A</sup> (±0,50)
	<b>Promedios</b>	<b>0,34 (±0,06)</b>	<b>125,53 (±65,45)</b>	<b>3,66 (±1,13)</b>	<b>0,78 (±0,26)</b>	<b>1,74 (±0,75)</b>	<b>3,56<sup>A</sup> (±0,76)</b>

PEB: Peso específico básico; CH: Contenido de humedad; Contracción v: volumétrica, t: tangencial, r: radial.

En cuanto al contenido de humedad el valor promedio fue 105,54 (Cuadro 13). . La contracción volumétrica promedio fue 6,55%. El Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad Nacional de Colombia reporta un valor inferior (2%), lo que podría dejar en evidencia posibles problemas de grano entrecruzado. Además esta especie presentó la mayor desviación de médula.

La contracción radial y la tangencial también presentan valores promedio superiores a los citados. Como es de esperarse debido a la disposición de las fibras y vasos en la madera, se da mayor contracción en el plano tangencial que en el plano radial. Su densidad verde promedio fue 0,99, inferior al valor reportado de 1,13 (UNC /SENA, 2003).

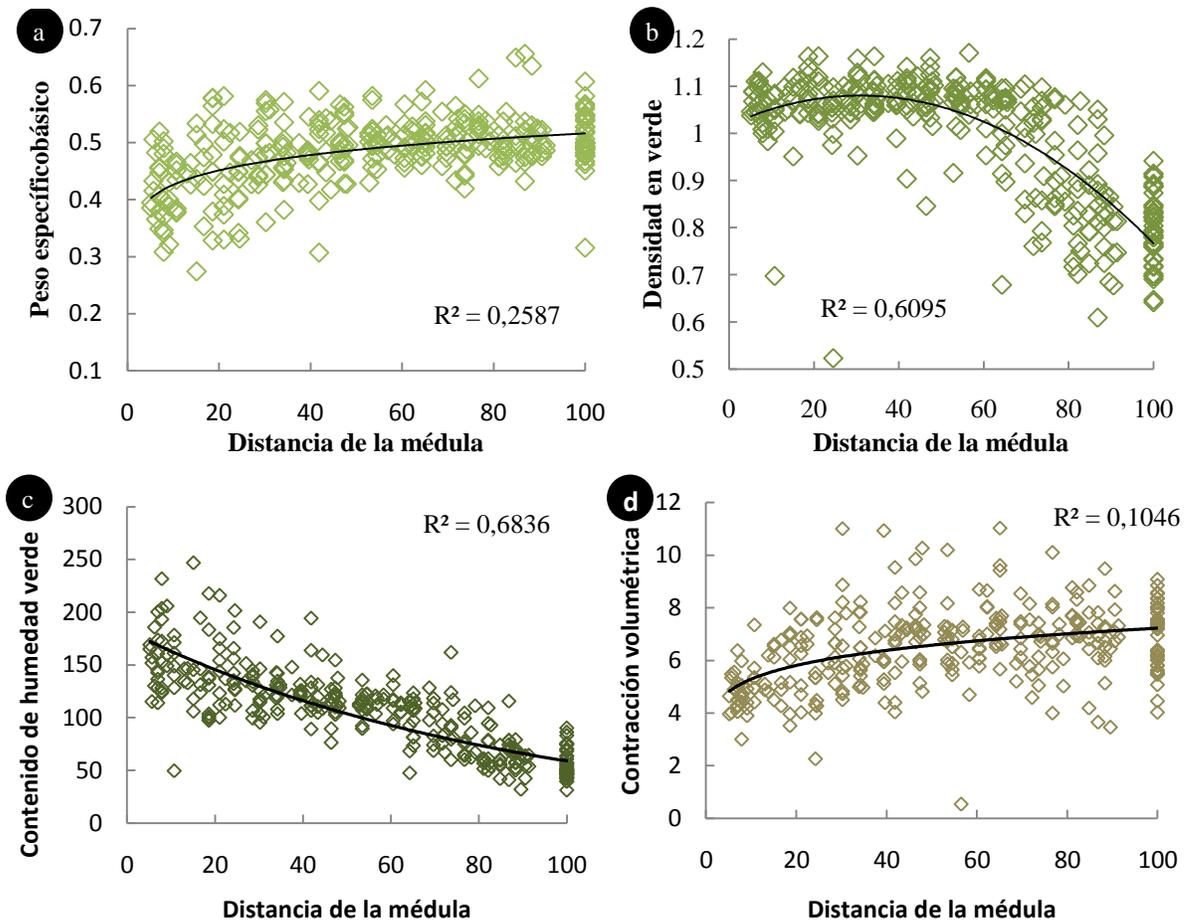
Para *E. cyclocarpum* (Cuadro 15) tampoco se encuentran diferencias significativas entre tratamientos para las variables en el Cuadro 13. El PEB promedio es 0,34, mientras que los valores reportados para la especie por Arevalo R y Londoño A, (2006) es 0,39 están entre 0,35 y 0,60 y el CH encontrado fue 125,53.

Al ser este de los tratamientos más favorables en otros aspectos mencionados en los capítulos 1 y 2, se puede deducir que el alto contenido de humedad se relaciona directamente con el mayor diámetro promedio y la mayor densidad de siembra.

Tamarit; Fuentes (2003), reporta para *E. cyclocarpum* una densidad básica de 0,35 (g/cm<sup>3</sup>), una contracción volumétrica de 8,40, y un CH de 220,35, por lo que el promedio de la densidad y la contracción volumétrica de *E. cyclocarpum* en la plantación mixta se acercan mucho a los valores reportados en la literatura.

*b. Variación de las propiedades físicas con la distancia de la médula*

En la Figura 13 y 14 se observa la variación de las propiedades físicas con la distancia de la médula para cada especie.



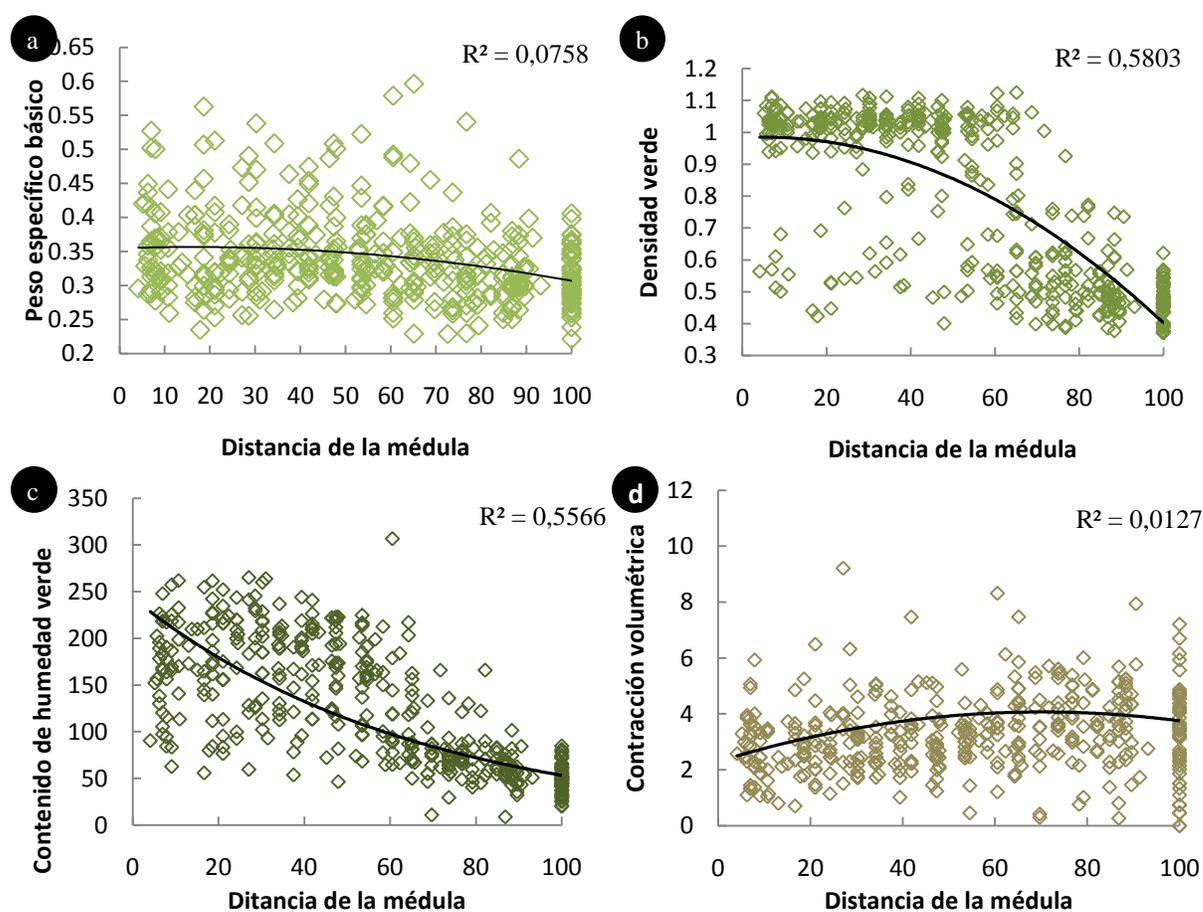
**Figura 13.** Gráfico de dispersión, distancia de la medula en madera de *S. saman* proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Para *S. saman* el porcentaje de contracción volumétrica aumenta conforme se acerca a la corteza al igual que el peso específico básico. El contenido de humedad disminuye conforme se aleja de la médula, como es de esperarse, dado que el agua que está más cerca de la médula tarda más en ser liberada que la que está cerca de la corteza.

La densidad verde tiene el mismo comportamiento. Esto puede ser más evidente en estas especies debido a la alta densidad de su madera, dado que se da la misma situación para *E. cyclocarpum* en las Figuras 14b y 14c.

Por otro lado, *E. cyclocarpum* (Figura 13) presenta un comportamiento similar al de *S. saman* en las variables de peso específico y contracción volumétrica, aunque *E. cyclocarpum* presentó un comportamiento muy diferente en cuanto al densidad verde, los datos se agrupan en densidades bajas a partir del 60% de distancia desde la médula y en densidades altas desde la médula hasta el 60%.

Dicho comportamiento se asocia a una particularidad del crecimiento de la especie bajo las condiciones determinadas, pues por lo general, la mayoría de las especies tienen un comportamiento más parecido al presentado por *S. saman*.



**Figura 14.** Gráfico de dispersión, distancia de la medula en madera de *E. cyclocarpum saman* proveniente de plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

En el Cuadro 14 se muestra la relación del modelo de variación de las propiedades según el tratamiento aplicado para *S. saman* y *E. cyclocarpum*. En el primer caso se encontró que la variación del peso específico básico presenta diferencias significativas entre tratamientos, a excepción del tratamiento al 50% con *H. courbaril*, en donde uno de los ensayos (Figura 4d) se considera significativo y el segundo (Figura 4e) con un modelo de variación no significativo.

La variación en los modelos para densidad, contenido de humedad y contracción volumétrica se encontró altamente significativa, a excepción de la variación en contracción volumétrica para el tratamiento al 50% de *H. courbaril* (Figura 4d).

Para *E. cyclocarpum*, el modelo de variación de la densidad es altamente significativa para todos los tratamientos, mientras que para el peso específico el modelo de variación de las propiedades resulta no significativo para los tratamientos 25% *A. adinocephala*+25%*S. macrophylla*, 50% *D. americana*, 50% *D. retusa* y 50% *S. saman*.

La variación en el modelo del contenido de humedad se encontró no significativo en el tratamiento al 50% con *S. saman*, y para el modelo de variación de contracción volumétrica no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos 50% *D. americana*, 50% *D. retusa*, 50% *S. saman*, 25% *S. macrophylla* +25%*S. saman* y 50% *H. courbaril*.

**Cuadro 15.** Modelo de variación de las propiedades físicas de la madera de *S. saman* y *E. cyclocarpum* según tratamiento, en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

	Tratamiento	Modelo de variación			
		PEB	Densidad	CH	Contracción v
50% <i>S. saman</i> +	50% <i>S. macrophylla</i>	0,44+X*0,0006+e**	1,15+X*-0,0036+e**	158,80+X*-1,10+e**	4,64+X*0,03+e**
	50% <i>H. courbaril</i>	0,49+X*0,0004+e *	1,19+X*-0,003+e**	143,23+X*-0,76+e**	6,37+X*0,004+e <sup>NS</sup>
	50% <i>H. courbaril</i>	0,48+X*0,0004+e <sup>NS</sup>	1,20+X*-0,004+e**	154,21+X*-0,97+e**	5,70+X*0,02+e**
	50% <i>E. cyclocarpum</i>	0,37+X*0,001+e**	1,15+X*-0,003+e**	202,62+X*-1,45+e**	4,52+X*0,03+e**
	25% <i>E. cyclocarpum</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	0,42+X*0,001+e**	1,15+X*-0,003+e**	166,35+X*-1,17+e**	5,67+X*0,02+e**
	50% <i>S. glauca</i>	0,43+X*-0,001+e**	1,16+X*-0,003+e**	164,19+X*-1,09+e**	5,55+X*-0,02+e**
	50% <i>S. glauca</i>	0,46+X*0,0007+e**	1,17+X*-0,003+e**	150,34+X*-0,88+e**	5,37+X*0,02+e**
50% <i>E. cyclocarpum</i> +	25% <i>H. courbaril</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	0,37+X*-0,001+e**	1,23+X*-0,008+e**	252,1+X*-1,90+e**	2,21+X*0,01+e*
	50% <i>T. impetiginosa</i>	0,33+X*-0,0002+e*	1,17+X*-0,007+ e**	259,32+X*-2,19+e**	2,29+X*0,02+e**
	25% <i>Albizia adinocephala</i> +25% <i>S. macrophylla</i>	0,35+X*-0,0002+e <sup>NS</sup>	1,13+X*-0,006+e**	180,97+X*-1,02+e**	2,91+X*0,01+e**
	50% <i>D. americana</i>	0,40+X*-0,0006+e <sup>NS</sup>	1,20+X*-0,006+e**	203,47+X*-1,34+e**	3,22+X*0,01+e <sup>NS</sup>
	50% <i>T. rosea</i>	0,35+X*-0,0006+e**	1,21+X*-0,008+e**	217,16+X*-1,67+e**	1,97+X*0,02+e**
	50% <i>D. retusa</i>	0,35+X*-0,0003+e <sup>NS</sup>	0,99+X*-0,005+e**	183,24+X*-1,42+e**	3,41+X*0,004+e <sup>NS</sup>
	50% <i>S. saman</i>	0,34+X*-0,0003+e <sup>NS</sup>	1,04+X*-0,006+e**	209,24+X*-1,60+e <sup>NS</sup>	2,37+X*0,02+e**
	25% <i>S. macrophylla</i> +25% <i>S. saman</i>	0,38+X*-0,0005+e*	1,23+X*-0,007+e**	235,73+X*-1,90+e**	2,99+X*0,006+e <sup>NS</sup>
	50% <i>H. courbaril</i>	0,43+X*-0,001+e**	1,23+X*-0,007+e**	186,35+X*-1,37+e**	2,87+X*0,0008+e <sup>NS</sup>

\*\* Altamente significativo (99%); \* significativo (95%); <sup>NS</sup> no significativo estadísticamente.

PEB: Peso específico básico; CH: Contenido de humedad, Contracción v: contracción volumétrica; Densidad: Numero de árboles / hectárea de todas las especies

En el Cuadro 15 se muestran los coeficientes de correlación para las propiedades de la madera que se ven afectadas según el crecimiento del árbol en diámetro, altura y densidad de la plantación.

En este análisis se utilizaron los datos de altura y densidad de plantación real (considerando la competencia según el número de vecinos para los individuos muestreados en el análisis de calidad) generados por la Hoja de cálculo de Excel elaborada por Murillo O, (2010), según la metodología sugerida.

Para *S. saman* se encontró una correlación positiva entre el diámetro a la altura del pecho y el porcentaje de duramen, aunque se da una mayor correlación del diámetro con el contenido de humedad verde.

Por otro lado, se da una correlación negativa del diámetro con respecto al porcentaje de corteza y al peso específico básico. La altura estimada no mostró correlación con ninguna de las propiedades estudiadas en ninguna de las dos especies. La densidad de la plantación presentó una correlación positiva y altamente significativa con la densidad verde, y una correlación positiva significativa con el parámetro  $b^*$  de la albura.

*E. cyclocarpum* solo presentó una correlación altamente significativa con el diámetro a la altura del pecho y una correlación positiva significativa de la densidad de plantación con la propiedad de contracción tangencial. Mientras que la densidad de esta presenta coeficiente de correlación negativos en las propiedades de contenido de humedad verde y el parámetro  $L^*$  del color.

**Cuadro 16.** Coeficiente de correlación entre las propiedades de la madera y las características del árbol según especie, en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Propiedad de la madera	<i>S. saman</i>			<i>E. cyclocarpum</i>		
	d	H <sub>T</sub>	N	d	H <sub>T</sub>	N
Porcentaje de duramen	0,3905*	-	-	-	-	-
Porcentaje de corteza	-0,5345**	-	-	-	-	-
Excentricidad de médula	-	-	-	-	-	-
Contracción volumétrica	-	-	-	-	-	-
Densidad verde	-	-	0,5720**	-	-	-
Contenido de humedad verde	0,4346*	-	-	-	-	-0,4106*
Peso específico básico	-0,4319*	-	-	-	-	-
Contracción radial	-	-	-	-	-	-
contracción tangencial	-	-	-	0,4877**	-	0,3784*
L-albura	-	-	-	-	-	-
a-albura	-	-	-	-	-	-
b-albura	-	-	0,4070*	-	-	-
L-duramen	-	-	-	-	-	-0,4182*
a-duramen	-	-	-	-	-	-
b-duramen	-	-	-	-	-	-

Diámetro altura de pecho, Altura total Legenda: \*\*estadísticamente significante con  $\alpha=0,01$  y \* estadísticamente significante con  $\alpha=0,05$

## CONCLUSIONES

---

- En el tratamiento de *S. macrophylla* con *S. saman*, el área basal para ésta última empezó a decrecer hasta perder casi la totalidad de individuos debido a la influencia del micrositio y a problemas fitosanitarios, que no han afectado el ritmo de crecimiento de *S. macrophylla*.
- Los mejores tratamientos en cuanto a la mayor cantidad de área basal alcanzada hasta el año 19, en los ensayos con *S. saman*, fueron los que se plantaron con *H. courbaril*; mientras que en los ensayos con *E. cyclocarpum*, fueron los que se plantaron con *T. impetiginosa* y *D. retusa*.
- El ensayo donde *S. saman* se desarrolló prácticamente en condición pura (*S. glauca* no se estableció desde el inicio) obtuvo el mayor número de árboles por hectárea (99) y el mayor valor de área basal de todas las unidades evaluadas (10,19m<sup>2</sup>/ha), no obstante fue el tratamiento con los resultados de calidad menos aceptables, aún bajo esta condición obtuvo el mayor volumen en trozas comerciales.
- El volumen encontrado en trozas comerciales para cada especie en las plantaciones mixtas fue de 35,81 m<sup>3</sup>/ha para *S. saman* y 53,83 para *E. cyclocarpum*, cuyo valor en pie, según las exigencias del mercado es de \$10571 y \$17229 respectivamente.
- El valor por metro cúbico para *S. saman* se estimó en \$452, 53 y para *E. cyclocarpum* \$479,92.
- La calidad promedio por árbol en escala del 1 al 100 es de 42,31 para *S. Saman* y 49,12 para *E. cyclocarpum*, lo que permite considerar que las plantaciones mixtas no tienen buena calidad según las exigencias del mercado. El índice de calidad promedio por troza es de 2,71 para *S. saman* y 2,51 para *E. cyclocarpum*.

- Se determinó que la plantación compuesta por un 50% *S. saman* + 25% *E. cyclocarpum* + 25% *S. macrophylla* alcanzó el mayor diámetro promedio y la mayor altura total estimada, con índices de calidad aceptables.
- El diámetro promedio encontrado fue de 32,90 cm para *S. saman* y 35,35 para *E. cyclocarpum*. El promedio del diámetro del duramen fue de 22,10 cm para *S. saman* y 19,64 Para *E. cyclocarpum*.
- El espesor de corteza y la excentricidad de la médula no presentó diferencias significativas entre las diferentes mezclas en las plantaciones mixtas. El promedio del espesor de corteza fue de 1,02 cm y la excentricidad 20,88cm para *S. saman*, y 0,81 y 15,74 respectivamente para *E. cyclocarpum*.
- El mayor porcentaje de duramen para *S. saman* se encuentra en la plantación mixta 50% *E. cyclocarpum* + 50% *S. saman*, significativamente diferente sólo a la plantación de 50% *S. saman* + 50% *S. glauca*. En el porcentaje de duramen para *E. cyclocarpum* no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.
- La proporción de corteza no mostró diferencias significativas entre las diferentes plantaciones mixtas para ninguna de las especies en estudio. El promedio fue de 12,14% para *S. saman* y 8,59% para *E. cyclocarpum*.
- Los valores promedio para los parámetros de color L\*, a\* y b\* para *S. saman* fueron de 63,71 ( $\pm 3,63$ ), 7,33 ( $\pm 7,33$ ) y 20,85 ( $\pm 2,17$ ) respectivamente en el duramen de la madera y 79,78 8 ( $\pm 3,35$ ), 2,54 ( $\pm 0,93$ ) y 22,44 ( $\pm 3,30$ ) respectivamente en la albura. De igual forma *E. cyclocarpum* presenta valores de L\* 57,49 ( $\pm 4,64$ ), a\* 7,87 ( $\pm 1,80$ ) y b\* 21,75 ( $\pm 1,80$ ) en el duramen, y 80,35 ( $\pm 4,27$ ), 1,24 ( $\pm 0,45$ ) y 19,21 ( $\pm 2,45$ ) respectivamente en la madera correspondiente a la albura.

- Las variables de las maderas de peso específico básico, contenido de humedad verde, contracción volumétrica, densidad madera, contracción radial ni contracción tangencial no presentan diferencias significativas entre tratamientos
- El valor del promedio del PEB encontrado para *S. saman* es 0,48, el cual se encuentra dentro del rango reportado para la especie, cerca del límite inferior. El PEB promedio para *E. cyclocarpum* fue de 0,34, en donde el límite inferior de los valores reportados es 0,35.
- El contenido de humedad promedio para *S. saman* fue de 105,54 y para *E. cyclocarpum* 125,53.
- La densidad promedio de la madera de *S. saman* fue 0,99 y la de *E. cyclocarpum* 1,74.
- La contracción volumétrica promedio para *S. saman* fue 6,55%, considerablemente alta con respecto al valor de referencia (2%), lo que se asocia a problemas de grano entrecruzado en la madera. La contracción radial fue 2,79% y la tangencial 4,08%. Para *E. cyclocarpum* la contracción volumétrica fue de 3,66%, la radial de 1,74 y la tangencial de 3,56.
- El período límite de producción de madera juvenil y madura fue de comportamiento similar en *S. saman* con respecto al color hallado en las muestras de color provenientes de bosque. Mientras que *E. cyclocarpum* no define claramente el límite y no se parece al presentado por la especie plantada en bosque.
- Se encontró una correlación positiva entre el diámetro a la altura del pecho y el porcentaje de duramen y contenido de humedad verde para *S. saman*. Por otro lado, se encontró una correlación negativa del diámetro con respecto al porcentaje de corteza y al peso específico básico.

- *E. cyclocarpum* presentó una correlación altamente significativa con el diámetro a la altura del pecho y una correlación positiva significativa de la densidad de plantación con la propiedad de contracción tangencial. La densidad presentó coeficientes de correlación negativos en las propiedades de contenido de humedad verde y el parámetro L\* del color.

## RECOMENDACIONES

---

El incremento en área basal para ambas especies en los últimos años empezó a disminuir anualmente en todas las plantaciones mixtas, por lo que pronto su crecimiento podría estancarse y sería recomendable considerar la aplicación de un raleo, enfocándose en dejar el material de mayor calidad y en eliminar los individuos con problemas fitosanitarios, dado que el valor de la madera incrementa conforme aumenta la clase diamétrica ya que tanto *S. Saman* como *E. cyclocarpum* pueden alcanzar diámetros mayores a los promedios alcanzados en las plantaciones mixtas en estudio, pues es una especie con buen desarrollo en espacios abiertos.

## BIBLIOGRAFÍA

---

Alice, F; Montagnini, F; Montero, M. 2004. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica (en línea). *Agronomía Costarricense*, 28 (2):61-71. Universidad de Costa Rica San José, Costa Rica. Consultado 14 abril 2010. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/436/43628206/43628206.html>.

Arevalo, R; London, A. 2006. Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. Universidad de Tolima. Colombia. 146 p. Visitado: 16 junio 2010. Disponible en: [http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home\\_1/hm/cont0.jsp?rec=not\\_645\\_2.jsp](http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/hm/cont0.jsp?rec=not_645_2.jsp)

ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. ASTM D 2395-02. 15 p.

ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003b. Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM D 143-94 Reproved 2000. 40 p.

ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003c. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurements of Wood and Wood-Base Materials. ASTM D-1442-92. Volume 04-10. Pennsylvania. (Reproved 2003).

Atlas Digital de Costa Rica. 2004. Disponible en la Biblioteca José Figueres Ferrer. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR.

- Carrillo, O. 2001. Situación de la Industria Forestal Costarricense. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal Costa Rica. Proyecto: TCP/COS/006(A): Mercado e industrialización de materia prima proveniente de plantaciones forestales. San José, CR. 28 p. Consultado el 14 noviembre. Disponible en [http://www.sirefor.go.cr/pdf/antecedentes\\_generales/sector\\_forestal/Situaci%F3n%20DE%20LA%20INDUSTRIA%20FORESTAL%20COSTARRICENSE.pdf](http://www.sirefor.go.cr/pdf/antecedentes_generales/sector_forestal/Situaci%F3n%20DE%20LA%20INDUSTRIA%20FORESTAL%20COSTARRICENSE.pdf)
- Czarnowski, M. 2002. Suitability of native tree species for reforestation in the tropical dry forest of Costa Rica, Estación Experimental Forestal Horizontes, Área de Conservación Guanacaste, CR. Tesis Lic. Faculty for forestry Science and Forest Ecology of the Georg-August-University Göttingen in Germany. 43 p.
- Francis, John K. 1988. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Guanacaste, earpod-tree. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 4 p. Visitado 12 junio 2010. Disponible en <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Enterolobiumcyclocarpum.pdf>
- Gutiérrez, M. 2010. Proyecto Plantaciones Mixtas 1991-1993 Estación Experimental Forestal Horizontes en Liberia (entrevista) Guanacaste, CR. ([mgutierrez@acguanacaste.ac.cr](mailto:mgutierrez@acguanacaste.ac.cr)).
- Hunter Lab. 2009. Instrumentos para mediciones de color (en línea). Virginia, US. Consultado 23 noviembre del 2009. Disponible en <http://www.hunterlab.com/measurementmethods/solid4.html>
- INISEFOR (Instituto de Investigación y Servicios Forestales). 2008. Informe sobre La Estación Experimental Forestal Horizontes. Universidad Nacional Autónoma, Heredia, Guanacaste, CR. 8 p.

- Mora, F; *et al.* 2002. Reconstrucción del crecimiento de tres especies nativas en la estación experimental forestal Horizontes a través de las técnicas del análisis fustal, Liberia, Guanacaste. Escuela de Ciencias Ambientales / Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional. 13 p.
- Moya, R; Murillo, O. 2008. Wood color variation in green and kiln.dried plantation-grown lumber of *Vochysia guatemalensis*. CIIBI, ITCR, Cartago, CR. 24 p
- Moya, R; Salazar, F; Valenzuela, L. 2002. Efecto de la fertilización de la pradera sobre la densidad básica de la madera de *Pinus radiata* D. Don (en línea). Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 11 (1): 181-192. Consultado el 23 nov. 2009. Disponible en <http://www.inia.es/IASPF/2002/vol11/MOYA.PDF>
- Moya, R; Valenzuela, L; Salazar, F. 2003. Efecto de la fertilización de la pradera sobre la delimitación y características del periodo juvenil de *Pinus radiata* D. Don (en línea). Revista Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 12(2): 13-23. Consultado 22 nov. 2009. Disponible en: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/013-023-%288601%29-Efecto\\_1059568425078.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/013-023-%288601%29-Efecto_1059568425078.pdf)
- Murillo, O; Badilla, Y. 2010. Avalúos forestales (en prensa). Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR.
- Murillo, O; Meza, A; Cabrera, JM. 2004. Estimación del valor real y del valor de mercado en pie de la plantación foresta. Agronomía Costarricense, 28 (1): 47-55. Universidad de Costa Rica San José, CR. Consultado 26 noviembre 2009. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/436/43628105/43628105.html>

OFI / CATIE. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas (en línea). Oxford Forestry Institute / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CR.

[http://books.google.es/books?id=q-0NAQAIAAJ&printsec=frontcover&dq=%C3%A1rboles+de+centroam%C3%A9rica+un+manual+para+extensionistas&source=bl&ots=Eqj\\_o9hfkt&sig=qHfbAn67XRieBhXPDcAZfxS51TU&hl=es&ei=NDyETJT6F4KB8gaLj7mIAw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result#v=onepage&q&f=false](http://books.google.es/books?id=q-0NAQAIAAJ&printsec=frontcover&dq=%C3%A1rboles+de+centroam%C3%A9rica+un+manual+para+extensionistas&source=bl&ots=Eqj_o9hfkt&sig=qHfbAn67XRieBhXPDcAZfxS51TU&hl=es&ei=NDyETJT6F4KB8gaLj7mIAw&sa=X&oi=book_result&ct=result#v=onepage&q&f=false)

Salazar, R; Soihert C. 2001. Manejo de semillas de 75 especies forestales de América Latina Volumen II. Turrialba, CR. Proyecto de semillas Forestales. Manual técnico CATIE, 48: 1-155. Consultado 17 junio 2010. Disponible en: [http://books.google.es/books?id=JNYOAQAIAAJ&pg=PA103&lpq=PA103&dq=%22tabebuia+impetiginosa%22\\*%22suelos%22&source=bl&ots=NMzd8gxcwl&sig=Z0ilkfPJWyQI8IcD\\_n6Bd6AGnwA&hl=es&ei=8e1MTKvpJIH\\_8AaH89Az&sa=X&oi=book\\_result&ct=result#v=onepage&q&f=false](http://books.google.es/books?id=JNYOAQAIAAJ&pg=PA103&lpq=PA103&dq=%22tabebuia+impetiginosa%22*%22suelos%22&source=bl&ots=NMzd8gxcwl&sig=Z0ilkfPJWyQI8IcD_n6Bd6AGnwA&hl=es&ei=8e1MTKvpJIH_8AaH89Az&sa=X&oi=book_result&ct=result#v=onepage&q&f=false)

Tamarit Urias, JC; Fuentes Salinas, M. 2003. Parámetros de humedad en 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica (en línea). Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(2): 155-164. <http://www.chapingo.mx/noticias/img/revistas/articulos/doc/c7e978495a491c4a760788a3ff1c4826.pdf>

UNC /SENA, 2003. Las maderas en Colombia: Ficha técnica *Samanea saman*. Laboratorio de productos forestales, Medellín, CO. Consultado el 08 junio 2010. Disponible en <http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecnicas.html>

Villegas, MS. 2005. Colorimetría y blancura en madera de *Salix* (en línea). JTP Dendrología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata. La Plata, AR. Consultado 23 junio 2010. Disponible en <http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/biblos/JS%202009/Trabajos/2%20Trabajos%20Tecnicos/2-6%20Tecnologia/Villegas.pdf>

Zamora, N. 2000. Ficha de especies: *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*. INBIO. Santo Domingo, Heredia, CR. Consultado el 26 de nov. 2009. Disponible en: <http://darnis.inbio.ac.cr/FMPro?DB=UBIpub.fp3&lay=WebAll&Format=/ubi/detail.html&-Op=bw&id=1450&-Find>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Valores estadísticos del ANOVA para las propiedades generales de la madera de *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Variable dependiente	R <sup>2</sup>	CM <sub>modelo</sub>	CM <sub>error</sub>	Valor F
Diámetro total	0,80	49,382	5,451	9,06**
Diámetro sin corteza	0,80	45,963	5,095	9,02**
Diámetro duramen	0,77	32,885	4,357	7,55**
Espesor de corteza	0,36	0,027	0,021	1,25 <sup>NS</sup>
Porcentaje duramen	0,65	150,381	36,002	4,18 <sup>NS</sup>
Porcentaje corteza	0,25	1,611	2,124	0,76 <sup>NS</sup>
Excentricidad	0,21	65,027	108,789	0,6 <sup>NS</sup>
L albura	0,49	29,03	13,49	2,15 <sup>NS</sup>
a albura	0,17	0,11	0,24	0,45 <sup>NS</sup>
b albura	0,50	9,70	4,36	2,22 <sup>NS</sup>
L duramen	0,26	93,62	29,44	3,18**
a duramen	0,23	3,51	1,28	2,73**
b duramen	0,21	13,65	5,63	2,42*
**F<0,01 = Altamente significativo (99%)				gl <sub>modelo</sub> = 8
* 0,01<F<0,05 = significativo (95%)				gl <sub>error</sub> = 18

**Anexo 2.** Valores estadísticos del ANOVA para las propiedades físicas de la madera de *E. cyclocarpum* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

Variable dependiente	R <sup>2</sup>	CM <sub>modelo</sub>	CM <sub>error</sub>	Valor F
Nconvol	0,258	0,018	0,023	0,78 <sup>NS</sup>
Ndensidad	0,329	0,022	0,020	1,10 <sup>NS</sup>
CH verde	0,287	514,85	567,871	0,91 <sup>NS</sup>
PEB	0,404	0,002	0,002	1,53 <sup>NS</sup>
Contracción radial	0,342	0,619	0,559	1,11 <sup>NS</sup>
Contracción tangencial	0,350	0,684	0,566	1,21 <sup>NS</sup>

**Anexo 3.** Valores estadísticos del ANOVA sobre características generales de la madera de *S. saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

<b>Variable dependiente</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>CM<sub>modelo</sub></b>	<b>CM<sub>error</sub></b>	<b>Valor F</b>
Diámetro total	0,810	33,210	3,320	10,00**
Diámetro sin corteza	0,827	35,363	3,171	11,15**
Diámetro duramen	0,76	45,073	6,085	7,41**
Espesor de corteza	0,313	0,036	0,034	1,06 <sup>NS</sup>
Porcentaje duramen	0,540	227,830	83,0537	2,74 <sup>NS</sup>
Porcentaje corteza	0,545	12,042	4,308	2,80 <sup>NS</sup>
Excentricidad	0,275	126,41	143,077	0,88 <sup>NS</sup>
L duramen	0,063	25,659	40,437	0,63 <sup>NS</sup>
a duramen	0,092	1,663	1,761	0,94 <sup>NS</sup>
b duramen	0,183	15,952	8,093	2,09 <sup>NS</sup>
L albura	0,18	6,71	13,19	0,51 <sup>NS</sup>
a albura	0,11	0,31	1,10	0,28 <sup>NS</sup>
b albura	0,43	8,83	15,75	1,78 <sup>NS</sup>
**P<0,01 = Altamente significativo (99%)				gl <sub>modelo</sub> = 6
* 0,01<P<0,05 = significativo (95%)				gl <sub>error</sub> = 14
NS: no significativo estadísticamente				

**Anexo 4.** Valores estadísticos del ANOVA sobre características físicas de la madera de *S. saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la EEFH, Guanacaste, 2010.

<b>Variable dependiente</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>CM<sub>modelo</sub></b>	<b>CM<sub>error</sub></b>	<b>Valor F</b>
Nconvol	0,202	0,003	0,005	0,59 <sup>NS</sup>
Ndensidad	0,573	0,013	0,004	3,13*
CH verde	0,429	247,21	141,016	1,75 <sup>NS</sup>
PEB	0,489	0,0014	0,0006	2,23 <sup>NS</sup>
Contracción radial	0,367	0,439	0,325	1,35 <sup>NS</sup>
Contracción tangencial	0,360	1,205	0,919	1,31 <sup>NS</sup>
**P<0,01 = Altamente significativo (99%)				gl <sub>modelo</sub> = 6
* 0,01<P<0,05 = significativo (95%)				gl <sub>error</sub> = 14
NS: no significativo estadísticamente				