

# **Análisis de crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en tratamientos con auxinas y giberelinas bajo condiciones de vivero**

Analysis of mahogany's (*Swietenia macrophylla* King) plantules growth through treatments with auxins and gibberellins under conditions of tree nursery

por

**CESAR VALE-MONTILLA**

Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario Rafael Rangel, Centro de Investigaciones Agrícolas, Biológicas, Educativas y Sociales (CIABES), Apartado Postal 3150. Trujillo, Venezuela. [cvale@ula.ve](mailto:cvale@ula.ve), [cesarva2003@gmail.com](mailto:cesarva2003@gmail.com)

## RESUMEN

El análisis de la calidad de planta forestal en vivero requiere la medición constante de variables de crecimiento, que pueden resultar afectadas por los tratamientos aplicados. Por esta razón, el objetivo fue evaluar el efecto de dos reguladores de crecimiento sobre el crecimiento de caoba (*Swietenia macrophylla* King), éstos fueron ProGibb® (ácido giberélico 10% p/p e ingredientes inertes 90% p/p) y GiberGrop® (ácido alfa-naftalenacético 17,2% y giberelina 10% p/p), utilizando un diseño completamente aleatorizado con 5 tratamientos: ProGibb® a 200, 400 y 800 mg/L, GiberGrop® a 600 mg/L y sólo con agua corriente. En muestreos cada 30 días se evaluó área foliar y peso seco total, para calcular algunos índices de crecimiento (IAF, RAF, TCR, TCC y TAN). El área foliar fue ascendente entre el primer y tercer muestreo, donde alcanza el máximo valor. El peso seco total también resultó ascendente entre el primer y cuarto muestreo. GiberGrop® presentó los mayores valores de área foliar, peso seco, IAF y RAF. Posterior a la primera evaluación, la RAF presentó decrecimiento progresivo en todos los tratamientos. El mayor valor de IAF ocurrió en el cuarto muestreo. El tratamiento con ProGibb® a 400 mg/L fue el único tratamiento que presentó un aumento gradual y progresivo para los índices TAN, TCR y TCC, lo que indica que con el transcurrir del tiempo mejora la eficiencia fotosintética y la elaboración de nuevo material por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo.

**PALABRAS CLAVE:** *Swietenia macrophylla*, auxinas, giberelinas, índices de crecimiento.

## ABSTRACT

The analysis of quality of forest plants in tree nursery requires a constant measurement of variable growth, which could be affected by applied treatment. For this reason, the objective of this study was to evaluate the effect of two regulator of growth ProGibb® (Gibberellic Acid 10% w/w and inert ingredients 90% w/w) and GiberGrop® (1-Naphthalenecetic Acid 17,2% and Gibberellins 10% w/w) on the growth mahogany (*Swietenia macrophylla* King), using a completely randomized desing of 5 treatments scattered: ProGibb® to 200, 400 and 800 mg/L, GiberGrop® to 600 mg/L and only with water. In samplings taken every 30 days, foliage area and dry total weight were evaluated, to calculate some indexes of growth (LAI, LAR, RGR, CGR, and NAR). The foliage area was ascending between the first and third sampling process, where it reaches its highest values. The dry total weigh was also ascending between the first and fourth sampling. GiberGrop® produced the major values of foliage area dry weight LAI and LAR. After the first evaluation, the LAR evidence progressive decrease in all treatments. The major value of LAI of LAI occurred in the fourth sampling. The treatment with ProGibb® to 400 mg/L was the only treatment that presented a gradual and progressive increase for the indexes NAR, RGR and CGR, which indicates that as time goes by, the photosynthetic efficiency and the elaboration of new material improve by unit of soil and by unit of time.

**KEY WORDS:** *Swietenia macrophylla*, auxinas, giberelinas, índices de crecimiento.

## INTRODUCCIÓN

La síntesis continua de sustancias, desde pequeñas moléculas hasta grandes y complejas estructuras, constituye el crecimiento. Se le puede definir como el aumento de protoplasma o el incremento en peso seco o volumen irreversible que ocurre en un órgano o en la planta completa (Montaldi 1995). El patrón de crecimiento de una generación se describe por medio de la curva sigmoide, que resulta de las tasas de crecimiento diferenciales durante su ciclo de vida (Hunt 1990).

El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas. Es una técnica que utiliza modelos matemáticos para cuantificar la relación existente entre el crecimiento de una planta, la producción de materia seca y la expansión de área foliar, entre estos factores y una condición ambiental como la luz, el agua o los nutrientes (Clavijo 1989). El análisis de crecimiento tiene la gran ventaja de proveer medidas precisas del funcionamiento de la planta a través de intervalos de tiempo (Hunt 1990).

La absorción de luz incidente sobre un cultivo depende de la amplitud de su superficie foliar. Una medida que expresa la capacidad de la estructura para interceptar la radiación solar es el índice de área foliar (IAF). Este índice representa la suma de la totalidad de las superficies de las hojas existentes en un área de suelo, expresadas ambas en las mismas unidades. Los cultivos de especies diferentes absorben distintas cantidades de fotones, aun con el mismo IAF. Este comportamiento se debe a la orientación de las hojas en el espacio (Montaldi 1995).

Además del IAF, resulta útil considerar la disposición de las hojas en el dosel. Si todas las hojas están en posición horizontal, las hojas de la porción superior estarán expuestas a plena insolación y la fotosíntesis en estas hojas será sobresaturada, por lo que gran parte de la luz se desperdiciaría. Si las hojas se orientan en posición más o menos vertical, los rayos de luz serán más o menos paralelos a las superficies foliares, por lo que casi ninguna hoja se encontraría por encima del nivel de saturación (Salisbury & Ross 1994).

El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como Peso Seco (PS), Área Foliar Total (AF) y Tiempo (T), mientras que las medidas derivadas Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Relación de Área Foliar (RAF), Tasa de Asimilación Neta (TAN) e Índice de Área Foliar (IAF) son calculadas a partir de las medidas directas (Hunt 1978).

El Índice de Área Foliar (IAF) representa la relación entre el área foliar o superficie fotosintetizadora y el área de suelo ocupada por el cultivo y la Relación de Área Foliar (RAF) es definida como la relación entre el área foliar total y el peso seco total. Otros índices que permiten evaluar la eficiencia de la planta, es la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), denominado el índice de eficiencia de producción de materia seca, la Tasa de Asimilación Neta (TAN) que es un indicador de la eficiencia fotosintética promedio, ya que mide la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y por unidad de tiempo, y la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) que es considerado un índice de la productividad agrícola, que mide la ganancia en peso de una comunidad de plantas por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo (Hunt 1978; Gardner *et al.* 1985; Clavijo 1989).

Una de las funciones más importantes de las giberelinas es la promoción del crecimiento del tallo, esto se debe a la inducción de la división celular en el meristemo subapical; su aplicación incrementa el tamaño de la zona meristemática al aumentar el número de células que entran en división celular. Estas células contribuyen posteriormente a la elongación del tallo, crecimiento de hojas y raíces. En la germinación de la semilla, las primeras hormonas que actúan son las giberelinas. El ácido giberélico ( $GA_3$ ) activa el crecimiento vegetativo del embrión durante la germinación y promueve la producción o secreción de enzimas hidrolíticas principalmente  $\alpha$ -amilasa, enzima involucrada en la solubilización de las reservas del endospermo. Las auxinas están implicadas en muchos procesos del desarrollo vegetal porque afectan la división, el crecimiento y la diferenciación de las células. Los efectos son producidos en el alargamiento de raíz y tallo. Además de esta acción sobre el crecimiento, las auxinas influyen de forma decisiva en procesos como la división celular del cambium, la diferenciación vascular, la formación de raíces adventicias, la dominancia apical y el desarrollo de los frutos (Salisbury & Ross 1994; Taiz & Zeiger 2002; Azcón & Talón 2013).

Las hormonas se han utilizado en plantas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) de diferentes maneras. Por ejemplo, Acosta *et al.* (2012) utilizó semillas de caoba en tratamientos de inmersión con ácido giberélico en concentración de 3 ppm durante 24 horas, consiguieron un 92 % de germinación. Gárate (2010) siguiendo un protocolo de Soudre *et al.* (2010), acerca de las diversas técnicas de propagación vegetativa por estacas de especies arbóreas de la amazonia peruana, entre ellas *Swietenia macrophylla* King, alcanzaron 96% de enraizamiento utilizando

estacas juveniles de sección media y basal, de 4,5 cm de longitud, con área foliar de 50 cm<sup>2</sup> (un folíolo), y con 8000 ppm de AIB, iniciando el enraizamiento a casi 30 días de instaladas en la cámara de sub-irrigación. Este resultado se contradice con Sánchez (2011), quien para la misma especie y en cámara de sub-irrigación, para determinar el tamaño adecuado de estaca (5,8 y 11 cm) y la dosis óptima de AIB (0, 500, 1000 y 1500 ppm) para el enraizamiento, al evaluar sobrevivencia, formación de callos, número, longitud y diámetro de raíz, porcentaje de sobrevivencia y enraizamiento, encuentran que la dosis de 1000 ppm de AIB fue la que promovió un mayor porcentaje de enraizamiento (21,4 %), aunque el tamaño de estaca no mostro diferencia estadística significativa para ninguna de las variables evaluadas.

Marturet *et al.* (2016) se plantearon el establecimiento de un protocolo de morfogénesis *in vitro* a partir de tallos e hipocótilos cultivados *in vitro*, y tallos y yemas axilares provenientes de plántulas de caoba cultivadas en invernadero, evaluando la combinación de dos auxinas: ANA y 2,4-D y dos citocininas: BAP y TDZ, los resultados obtenidos abren la posibilidad de iniciar un proceso de propagación de caoba vía embriogénesis somática debido a la formación de callos.

En otras etapas del desarrollo de plantas arbustivas y maderables, se han utilizado hormonas. Es así como, Amador *et al.* (2013) analizaron el efecto de diferentes concentraciones de AIA, ANA y  $GA_3$ , sobre la germinación de semillas y crecimiento de dos especies de cactáceas globosas: *Ferocactus latispinus* y *F. histrix*, con la finalidad de investigar si la aplicación de estas hormonas promueve la velocidad de germinación de semillas, así como influir en un mayor desarrollo y crecimiento de las plántulas. En

*Cordia elaeagnoides* A. DC., la germinación se favorece con períodos de inmersión de la semilla en ácido giberélico ( $GA_3$ ) por 24 h (Santacruz *et al.* 2014).

Debido a la falta de estudios de análisis de crecimiento en caoba utilizando hormonas vegetales, se realizó esta investigación con el objeto de determinar el efecto de las hormonas en algunos índices de crecimiento de las plantas (IAF, RAF, TCR, TCC y TAN), para aportar un mayor conocimiento en esta especie de interés económico en el país, por la alta calidad de su madera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó entre los meses de junio y noviembre de 2016, en un vivero no permanente, constituido para realizar análisis de crecimiento de algunas especies de importancia forestal, ubicado en el sector La Raya de la ciudad de Trujillo, Venezuela. El sector está ubicado entre las coordenadas geográficas: latitud Norte  $09^{\circ} 12' 26'' - 09^{\circ} 27' 29''$ , longitud Oeste  $70^{\circ} 33' 59'' - 70^{\circ} 16' 53''$ . El patrón de temperaturas regente en el área, es de tipo megatérmico (media anual  $> 25^{\circ}C$ ), y el régimen de lluvias corresponde al bimodal, propio de la cuenca del lago de Maracaibo, con dos picos anuales de precipitación (mayo y octubre). La precipitación anual es de 1.386 mm. El municipio Trujillo, se encuentra en un rango altitudinal entre 475 y 1225 msnm (Roa & Kamp 2012).

## 2. PROCESO METODOLÓGICO

### 2.1. Diseño experimental

El experimento fue evaluado mediante un diseño completamente aleatorizado. Los tratamientos fueron a base de agua, ProGibb® en concentraciones de 200, 400 y 800 mg/L (20, 40 u 80 mg de ingrediente activo por litro) y GiberGrop® a 600 mg/L (60 mg de ingrediente activo de  $GA_3$  y 102,2 mg de ingrediente activo por litro de ácido *alfanaftalenacético*, colocadas en forma de aspersión en la parte aérea de las plantas de caoba (*Swietenia macrophylla* King), además de un tratamiento de aspersión de plantas solo con agua corriente, para cinco tratamientos y cuatro aspersiones, cada una con frecuencia semanal, la primera realizada al cumplir cuarenta y cinco días después de la siembra de la semilla (dds) y luego cada 7 días. Para el análisis de crecimiento, se utilizaron 03 plantas por tratamiento en cada uno de los tres primeros muestreos y 06 plantas por tratamiento en el cuarto y último muestreo, para un total de 15 plantas por tratamiento, siendo cada una de ellas una repetición. Para su obtención, fueron sembradas 150 semillas, una por bolsa de polietileno, con medidas de 9 cm de diámetro y 15 cm de altura. La germinación comenzó a 10 - 15 días de la siembra de la semilla, seleccionando para el ensayo aquellas plantas cuyo estado de desarrollo inicial fuera similar, utilizando la altura y diámetro de planta como criterios para la selección de las plantas.

El manejo nutricional para cada tratamiento, consistió en la aplicación mediante inyectora de 10 ml de solución del fertilizante 15-15-15 en agua (1 gr/100 ml), colocada cada 15 días en la base del tallo y alrededor de las plantas. Éstas se mantuvieron durante el transcurso del ensayo a plena exposición solar.

## 2.2. Muestreo de variables de plantas obtenidas del vivero

### 2.2.1. Medidas directas

La primera toma de datos o muestreo para la evaluación de la calidad de planta se realizó a los 45 dds, antes de comenzar las aspersiones o tratamientos, a una edad aproximada de 30 días de edad de las plantas. Luego de este primer muestreo, se realizaron muestreos mensuales durante la permanencia de las plantas en vivero. Cada muestreo consistió de un muestreo destructivo de plantas que, para evitar el efecto de borde, se extrajeron en forma aleatoria tres plantas centrales por tratamiento. Se llama muestreo destructivo ya que hay que sacrificar las plantas para la obtención de los pesos secos (aéreo y radicular). En cada planta se evaluaron como medidas directas, el área foliar de cada foliolo, así como el área foliar total por planta ( $\text{cm}^2$ ), además de peso aéreo y radicular de la planta (g), tanto peso fresco como seco. Ya que la caoba presenta dimorfismo foliar, durante los primeros 2 - 3 meses de edad de las plantas se evaluaron hojas simples, aun sin desarrollo de hojas compuestas, características en posteriores etapas de desarrollo. La primera hoja compuesta aparece después de los 75 días (Niembro 2010; Alvarenga & Flores 1988). Cada hoja compuesta es paripinnada, constituida por 4 - 5 pares de folíolos. El área foliar (AF) se determinó, colocando una lámina de papel milimetrado transparente sobre cada foliolo a medir, trazando su contorno, dentro del cual se encuentran los cuadrados a contar, originando el área de cada foliolo en  $\text{cm}^2$ . Para el área foliar total de cada planta, se suman las áreas de las siluetas del total de foliolos que tenga la planta. Para el peso aéreo y radicular de la planta, se separaron

las partes aérea y radical con tijeras de podar. Primero se determinó el peso fresco en una balanza digital calibrada en gramos. Cada parte de la planta se colocó en un horno de secado durante 72 horas a  $70^\circ\text{C}$  y finalmente se determinó el peso seco, considerando biomasa seca aérea y radical. Los datos de peso seco consistieron en la suma de ambos componentes.

### 2.2.2. Medidas derivadas (Índices de Crecimiento)

A partir de las medidas directas se determinaron las medidas derivadas, utilizando las fórmulas propuestas por Radford (1967), Evans (1972) y Hunt (1990), con el fin de calcular los índices de crecimiento (medidas derivadas), como sigue:

IAF = AF / AS, adimensional;

TCR =  $(\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$ , expresada en  $\text{g/g/día}$ ;

TCC =  $(1/AS) * (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$ , expresada en  $\text{g/cm}^2$  de suelo/día;

TAN =  $(W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) * (\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1)$ , expresada en  $\text{cm}^2$  de hoja/día;

RAF =  $\frac{1}{2} * (AF_1 + AF_2) / (W_1 + W_2)$ , expresada en  $\text{cm}^2$  de hoja/g

Dónde, IAF: índice de área foliar, además del IAF óptimo, que es aquel con el cual se consigue la máxima Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), con una captación más efectiva de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA); TCR: Tasa de Crecimiento Relativo; TCC: Tasa de Crecimiento del Cultivo; TAN: Tasa de Asimilación Neta; RAF: Relación de Área Foliar; AF: Área Foliar planta; AS: área de suelo ocupada por la planta ( $AS = 3,1416 \times (4,5)^2 = 63,6 \text{ cm}^2$ ); AF1: área foliar de la muestra del mes anterior; AF2: área foliar de la muestra del mes actual; W1: peso seco de la muestra del mes anterior; W2: peso seco de la muestra del mes actual; T1: fecha del muestreo

del mes anterior, expresado en días después de la siembra (dds); T2: fecha del muestreo del mes actual (dds), T2 - T1 es la diferencia en días transcurridos entre muestreos después de la siembra, que para el ensayo es constante (30 días).

Ya que es imposible realizar medidas de la biomasa seca de una misma planta en distintos momentos (ya que es una medición destructiva), los índices de crecimiento se calculan a partir de muestreos de plantas diferentes a lo largo del período experimental. El método más usado para el cálculo consiste en cosechar un número suficiente de plantas (10 a 15 submuestras por repetición) en tiempos distintos (mínimo dos; usualmente de cuatro a cinco según el ciclo de cultivo de la especie en estudio). Los diferentes índices se pueden calcular con los promedios de peso de todas las cosechas parciales o a partir del peso seco total de cada planta individual (Poorter & Garnier 1996; Hoffmann & Poorter 2002).

### 2.3. Análisis de los datos

Para el análisis de los datos, se realizó previamente el análisis de normalidad de Shapiro-Wilk para verificar la distribución de los datos, además de la prueba de homogeneidad de varianzas.

El procesamiento de los datos para las variables directas peso seco y área foliar se llevó a cabo mediante el procedimiento ANOVA de SAS®, versión 9.1. Con este procedimiento se determinó la existencia o no de diferencias significativas entre tratamientos y muestreos. La comparación de medias se hizo a través de la prueba de medias de Duncan ( $P < 5\%$ ). También se realizó el procedimiento REG para obtener las curvas de ajuste del crecimiento de las variables directas. Las variables derivadas se calcularon

por las formulas descritas anteriormente. Luego cada variable se graficó en función del tiempo (edad de las plantas) y tratamiento de aspersión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS

Para cada evaluación mensual o muestreo, se corrió el procedimiento UNIVARIATE de SAS con el objetivo de verificar la normalidad de los datos de cada variable evaluada. Se tomó en consideración para rechazar la hipótesis nula de normalidad un valor de  $p < 0,05$ . En consecuencia, se asumió que los datos de cada variable presentaban normalidad si el valor de  $p \geq 0,05$  (O'Rourke *et al.* 2007). Por este procedimiento se determinó que los datos de las variables evaluadas presentaron normalidad durante las evaluaciones.

### COMPORTAMIENTO DEL ÁREA FOTOSINTÉTICA (AF)

De los valores obtenidos se desprende que el efecto de los muestreos mensuales y de los tratamientos de aspersión es altamente significativo, a un nivel de significancia del 5 % para el área foliar de las plantas. Para la interacción entre muestreos y tratamientos resulto significativo (CUADRO 1).

Para el caso de la comparación entre medias, la prueba de Duncan permitió subdividir la suma de los cuadrados obtenidos en el análisis de varianza, de tal manera que la separación de medias pueda utilizarse para comparar los muestreos y tratamientos de aspersión en relación al comportamiento del área foliar. En los resultados de ésta comparación se observa que, en relación a los muestreos, el área foliar presentó un comportamiento ascendente entre el

**CUADRO 1.** Análisis de varianza para el área foliar (AF) de caoba según la edad de las plantas (muestreo) y tratamientos de aspersión.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	PR > F
<b>Modelo</b>	19	2.175.602,57	114.505,39	20,48	< 0.0001**
<b>Error</b>	55	307.452,22	5.590,04		
<b>Total</b>	74	2.483.054,78			
	R <sup>2</sup> 0,88	CV (%) 20,6	CME 74,7	MEDIA 361,63	
<b>Muestreo</b>	3	1.907.572,13	635.857,37	113,75	< 0,0001**
<b>Tratamiento</b>	4	124.204,62	31.051,15	5,55	0,0008**
<b>Muestreo*tratam</b>	12	143.825,83	11.985,48	2,14	0,0284*

\*\*Altamente significativo y \*significativo al 5 %

primer (M1) y tercer muestreo (M3), a una edad de las plantas de 105 días, edad en la que alcanza el máximo valor (554, 93 cm<sup>2</sup>), presentando diferencias altamente significativas con los otros muestreos. Luego disminuye para el cuarto muestreo (M4), a la edad de 135 días (**CUADRO 2**).

Al comparar los tratamientos, se observa que la aspersión de las plantas con GiberGrop® a 600 mg/L (T5) presenta el mayor desarrollo foliar (430,05 cm<sup>2</sup>), sin diferencias significativas con la aspersión de las plantas solo con agua corriente (T1), con el que se obtiene una media de 381,04 cm<sup>2</sup>, el cual no difiere significativamente con los tratamientos de aspersión con ProGibb® en concentraciones de 800 (T4) y 200 (T2) mg/L. La menor área foliar se obtuvo con aspersión de ProGibb® a 800 mg/L (T3), con un valor medio de 314,39 cm<sup>2</sup>.

## COMPORTAMIENTO DE PESO SECO TOTAL (PS)

Del **CUADRO 3** se desglosa que el efecto de los muestreos mensuales es altamente significativo a un nivel de significancia del 5 % para el peso seco total de las plantas ( $p < 0,0001$ ).

Esta situación cambia al evaluar el efecto de los tratamientos de aspersión, en los que no existe significancia ( $p = 0,5752$ ). La prueba de Duncan permitió la separación de medias para comparar los muestreos en relación al comportamiento del peso seco total. Sin embargo, a pesar de no existir diferencias significativas entre los tratamientos, la aspersión con GiberGrop® a 600 mg/L (T5) presenta el mayor peso seco total (4,44 g), seguido del tratamiento de aspersión de las plantas solo con agua corriente (T1), con el que se obtiene una media de 4,3 g (**CUADRO 4**).

En los resultados de la comparación de medias entre muestreos (edad de las plantas) se observa que, el peso seco presentó un comportamiento ascendente y progresivo entre el primer



**CUADRO 2.** Separación de medias utilizando la prueba de Duncan del área foliar (AF) según edad de las plantas (muestreros) y tratamientos de aspersión.

FUENTE DE VARIACIÓN	AGRUPAMIENTO POR DUNCAN (*)	MEDIA	N	MÉTODO
<b>Muestreo</b>	a	554,93	15	M3
	b	452,73	30*	M4
	c	210,66	15	M2
	d	137,10	15	M1
* En el cuarto muestreo (M4) se evaluaron 6 plantas/tratamiento				
<b>Tratamiento</b>	a	430,05	15	T5
	b a	381,04	15	T1
	b c	350,50	15	T4
	b c	332,19	15	T2
	c	314,39	15	T3
*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes				

**CUADRO 3.** Análisis de varianza para el peso seco total (PS) de caoba según la edad de las plantas (muestreros) y tratamiento de aspersión.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	PR > F
<b>Modelo</b>	19	485,43	25,54	13,26	< 0,0001**
<b>Error</b>	55	105,95	1,93		
<b>Total</b>	74	591,39			
	R <sup>2</sup> 0,82	CV (%) 34,3	CME 1,39	MEDIA 4,04	
<b>Muestreo</b>	3	463,14	154,38	80,14	< 0,0001**
<b>Tratamiento</b>	4	5,63	1,41	0,73	0,5752
<b>Muestreo*tratam</b>	12	16,66	1,39	0,72	0,7249

\*\*Altamente significativo y significativo al 5 %

(M1) y cuarto muestreo (M4) a 135 días, edad en la que alcanza el máximo valor (6,7 g), presentando diferencias altamente significativas con los otros muestreros.

### MODELOS DE REGRESIÓN GENERADOS

El total de plantas por tratamiento para el ajuste de los modelos de regresión fue de 15 plantas/tratamiento. Para evaluar las tendencias ajustadas en el área foliar y acumulación de materia

seca total para el total de plantas valoradas en el tiempo (**CUADRO 5**), los modelos de regresión para ambas variables concordaron con un modelo polinomial de tercer grado ( $R^2= 0,77$  y  $R^2= 0,78$ , respectivamente), típico de las fases I (retardación) y II (logarítmica) del patrón de crecimiento de los organismos (Steward 1969). En las **FIGURAS 1 Y 2** se pueden apreciar curvas de crecimiento logístico.

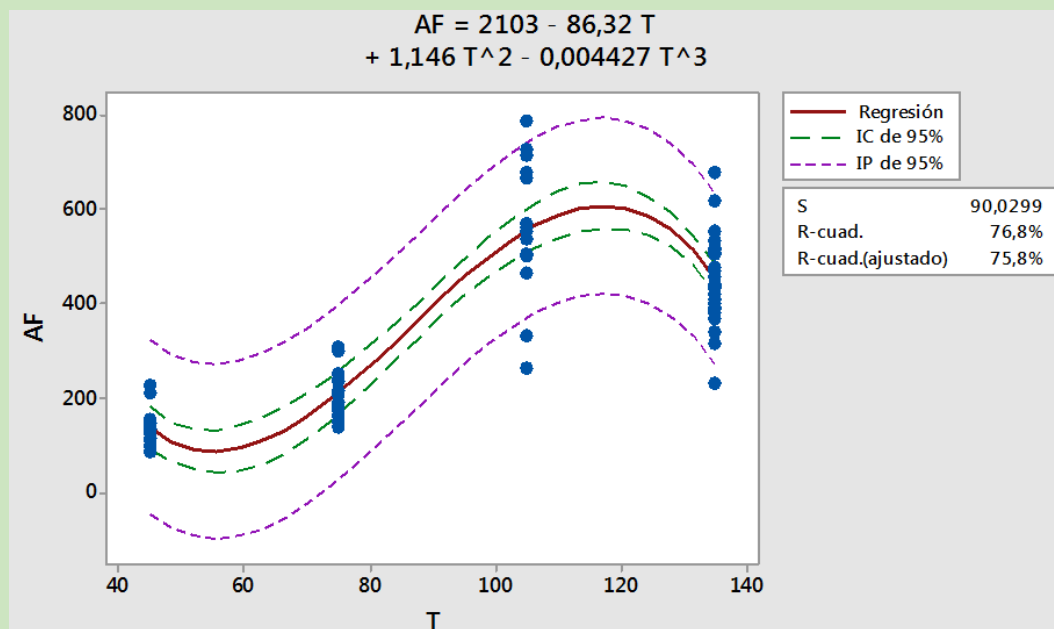
**CUADRO 4.** Separación de medias por Duncan del peso seco total (PS) según edad de las plantas (muestreos) y tratamientos de aspersión.

FUENTE DE VARIACIÓN	AGRUPAMIENTO POR DUNCAN (*)	MEDIA	N	MÉTODO
<b>Muestreo</b>	a	6,70	30*	M4
	b	4,46	15	M3
	c	1,48	15	M2
	c	0,88	15	M1
* En el cuarto muestreo (M4) se evaluaron 6 plantas/tratamiento				
<b>Tratamiento</b>	a	4,44	15	T5
	a	4,30	15	T1
	a	3,86	15	T2
	a	3,85	15	T3
	a	3,76	15	T4
*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes				

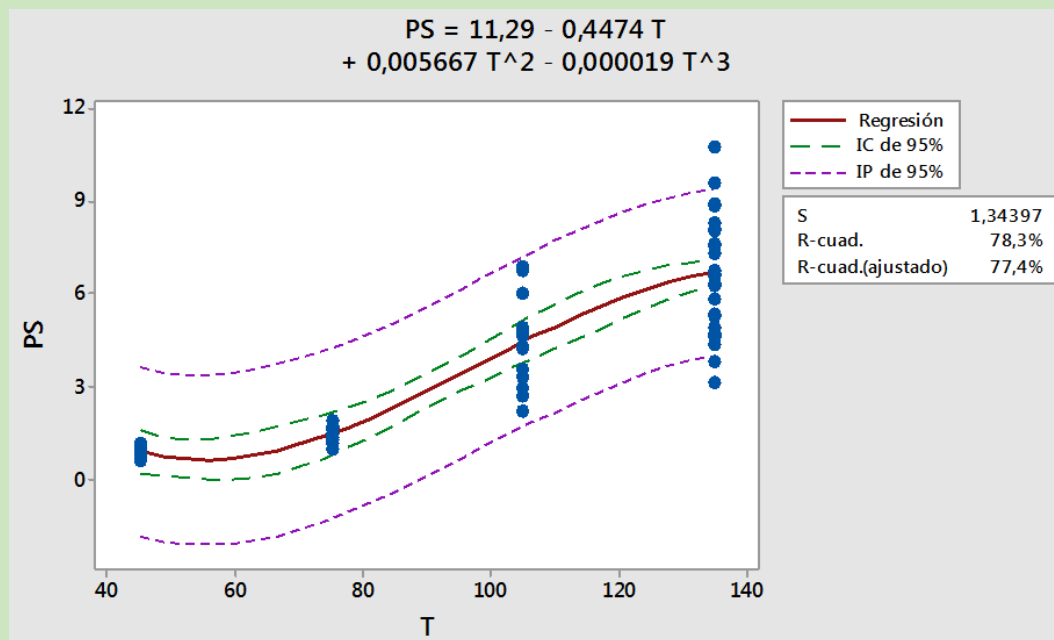
**CUADRO 5.** Modelos generados para la estimación del área foliar (AF) y peso seco total (PS) según la edad de las plantas.

VARIABLE DEPENDIENTE	PARÁMETRO	ESTIMADO	ERROR ESTÁNDAR	VALOR T	PR > T
<b>AF</b>	Intercepto	2.103,19	372,06	5,65	< 0,0001
	T	- 86,32	14,51	- 5,95	< 0,0001
	T <sup>2</sup>	1,15	0,172	6,66	< 0,0001
	T <sup>3</sup>	- 0,0044	0,00063	- 6,99	< 0,0001
	R <sup>2</sup> =0.77; CV (%)=24,9 AF=2103,2 - 86,32 T + 1,15 T <sup>2</sup> - 0,000633T <sup>3</sup>				
<b>PS</b>	Intercepto	11,29	5,55	2,03	0,046
	T	- 0,447	0,22	- 2,07	0,043
	T <sup>2</sup>	0,0057	0,0026	2,20	0,031
	T <sup>3</sup>	- 0,000019	0,0000095	- 2,04	0,045
	R <sup>2</sup> =0.783; CV (%)= 33,25 PS=11,29 - 0,45 T + 0,0057 T <sup>2</sup> - 0,0000193 T <sup>3</sup>				

AF: área foliar; PS: peso seco total; T: edad de las plantas en días; T<sup>2</sup>: edad de las plantas al cuadrado; T<sup>3</sup>: edad de las plantas al cubo



**FIGURA 1.** Tendencias ajustadas de acumulación de área foliar (AF) en plántulas de caoba, durante 135 días de edad de las plantas.



**FIGURA 2.** Tendencias ajustadas de acumulación de peso seco (PS) en plántulas de caoba, durante 135 días de edad de las plantas.

Antes de los 60 días de edad de las plantas, tanto el área foliar como la acumulación de materia seca son ligeramente bajos. Este crecimiento inicial lento, pudiera estar relacionado con una fase de aclimatación que comienza por generar mal funcionamiento de los estomas, menor contenido de reservas y baja concentración de clorofila, determinando tasas de actividad fotosintética muy reducidas, lo que se traduce en bajas tasas de crecimiento inicial. Posteriormente, las plantas comienzan un crecimiento progresivo, correspondiente con una fase logarítmica (60 - 80 días de edad), con mayores valores de área foliar y materia seca, siendo menos intensa la acumulación de materia seca. Esto significa que la rapidez de crecimiento ( $dv/dt$ ) es baja al principio, pero aumenta en forma continua. Luego se observa la fase lineal (80 - 105 días), en las que continua el aumento del área foliar y

materia seca a una velocidad constante, indicada por una pendiente constante.

Finalmente se observa una fase de estancamiento del crecimiento, caracterizada por una velocidad decreciente del crecimiento ( $> 105$  días de edad). Estas curvas demuestran que para el tipo de envase (9 cm de diámetro y 15 cm de altura) en los que crecieron las plantas, pudieran permanecer en vivero hasta un máximo de 120 días, ya que posterior a este tiempo las plantas presentan decrecimiento.

### ÍNDICES DE CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

En la presente investigación se tomaron 03 plantas por tratamiento en cada uno de los tres primeros muestreos y 06 plantas/tratamiento en el último muestreo, tomando los valores promedio por tratamiento para la determinación de los índices de crecimiento (**CUADRO 6**).

**CUADRO 6.** Valores promedio de los diferentes índices de crecimiento sobre la unidad de muestreo (planta).

M	TRAT	IAF	TCR	TCC	TAN	RAF
<b>M12 (45 - 75 días)</b>	T1	1,451	0,02496	0,0004088	0,0001799	70,14
	T2	2,110	0,00573	0,0000943	0,0000385	74,67
	T3	2,131	0,01833	0,0003407	0,0001339	67,63
	T4	1,969	0,02039	0,0003669	0,0001482	67,78
	T5	3,087	0,01683	0,0003512	0,0000959	86,75
<b>M23 (75 - 105 días)</b>	T1	3,357	0,04339	0,0020755	0,0003339	63,04
	T2	2,821	0,04331	0,0015933	0,0003215	64,48
	T3	3,009	0,02040	0,0006813	0,0001642	62,11
	T4	3,061	0,03961	0,0018291	0,0003267	59,80
	T5	4,307	0,03494	0,0016405	0,0002361	72,32
<b>M34 (105 - 135 días)</b>	T1	10,362	0,00812	0,0007862	0,0000895	45,57
	T2	7,967	0,01477	0,0012212	0,0001681	43,35
	T3	5,546	0,03002	0,0021751	0,0003479	40,64
	T4	9,256	0,00435	0,0003669	0,0000466	47,05
	T5	10,498	0,01402	0,0013208	0,0001440	48,27

M: muestreos; M12 - M34: muestras tomadas entre muestreos; T1 - T5: tratamientos; IAF: índice de área foliar; TCR: tasa de crecimiento relativo (g/g/día); TCC: tasa de crecimiento del cultivo (g/cm<sup>2</sup>/día); TAN: tasa de asimilación neta (g/cm<sup>2</sup>/día); RAF: relación de área foliar (cm<sup>2</sup>/g).

### Índice de Área Foliar (IAF)

La producción de materia seca está relacionada con el área foliar, por lo tanto, cuando esta última es alta, se espera una alta acumulación de materia seca. En el caso de esta investigación, el máximo IAF coincidió con el último muestreo realizado, correspondiente a 135 días de edad de las plantas para todos los tratamientos (CUADRO 6, FIGURA 3).

Esta tendencia se empezó a observar a partir de 75 días de edad, período hasta el cual las plantas dependen en su mayoría de las reservas del endospermo, y en menor grado, de los nutrimentos edáficos (Richards & Rowe 1977). Al incrementarse el área foliar, la respiración de mantenimiento ( $R_m$ ) se incrementa, de esta manera se necesita más eficiencia de los sistemas fotosintético y radical para enviar los fotoasimilados y nutrientes hacia los vertederos (Schaffer *et al.* 1996).

Hay que hacer notar que, durante todo el ciclo de vivero, el tratamiento de aspersión con GiberGrop® obtuvo los mayores valores de IAF. Todos los tratamientos presentan valores ascendentes, lo que significa una recuperación del área foliar, siendo notable el tratamiento de aspersión solo con agua, presentando para la última evaluación un valor de 10,362, como segundo mayor valor.

En plántulas de maraco (*Theobroma bicolor* H.B.K.), se observa lo contrario, con un ascenso progresivo desde la siembra hasta la primera floración, con el máximo valor presentado a los 118 días, seguido de un comportamiento irregular con tendencia a disminuir y es así como el último valor que se registró fue el menor valor. Al analizar las variaciones del Índice, se observó que, a través del tiempo, fue mayor el área de suelo ocupada por la planta que la producción de área foliar (Hernández *et al.* 1995).

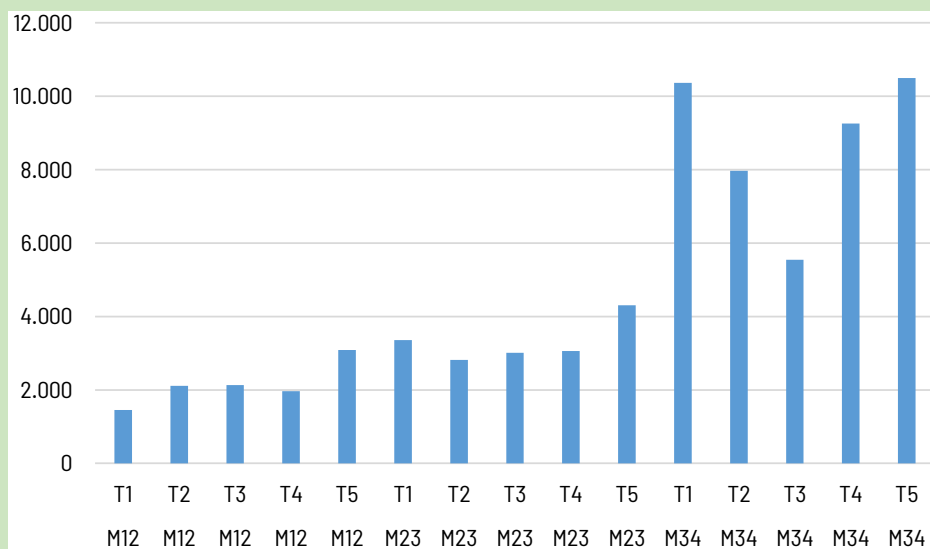


FIGURA 3. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) en plantas de caoba por tratamiento y edad de las plantas (M12 - M34).

En relación al índice de área foliar óptimo, es aquel que soporta la máxima tasa de materia seca, y se consigue cuando el cultivo intercepta virtualmente toda la RFA disponible (Clavijo 1989), y en consecuencia las capas más bajas de hojas son capaces de mantener un balance positivo de carbono (Hunt 1978). El índice de área foliar óptimo máximo se obtuvo con el tratamiento de aspersión con ProGibb® en concentraciones de 400 mg/L (0,0021751), que puede estar relacionado con la arquitectura lograda por las plantas con este tratamiento de presentar un follaje erecto, de forma que el ángulo de inserción de las hojas puede facilitar la exposición de las mismas a la RAF y así incrementar la eficiencia en la producción de biomasa. Los tratamientos que obtuvieron el IAF óptimo con valores de IAF menores al máximo, puede ser por efecto de un incremento del sombreadamiento cuando se obtiene el IAF máximo, condición en la cual parte del área foliar no queda expuesta a la RAF,

reduciendo la tasa fotosintética e incrementando la tasa respiratoria de mantenimiento.

Por lo demás, los bajos valores de IAF pueden originarse por efecto del área de suelo que se obtiene con el envase de dimensión 9 cm de diámetro y 15 cm de altura, lo que implica una menor área foliar por unidad de superficie de suelo.

### Relación de Área Foliar (RAF)

Los mayores valores fueron encontrados para todos los tratamientos durante las primeras evaluaciones, siendo notable una disminución progresiva en las posteriores evaluaciones, debido al incremento de la biomasa total y por ende del costo respiratorio, hasta alcanzar los menores valores entre el tercer y cuarto muestreo (105 - 135 días de edad) en todos los tratamientos. El tratamiento de aspersión con GiberGrop® obtuvo los mayores valores de RAF en todas las evaluaciones realizadas (FIGURA 4).

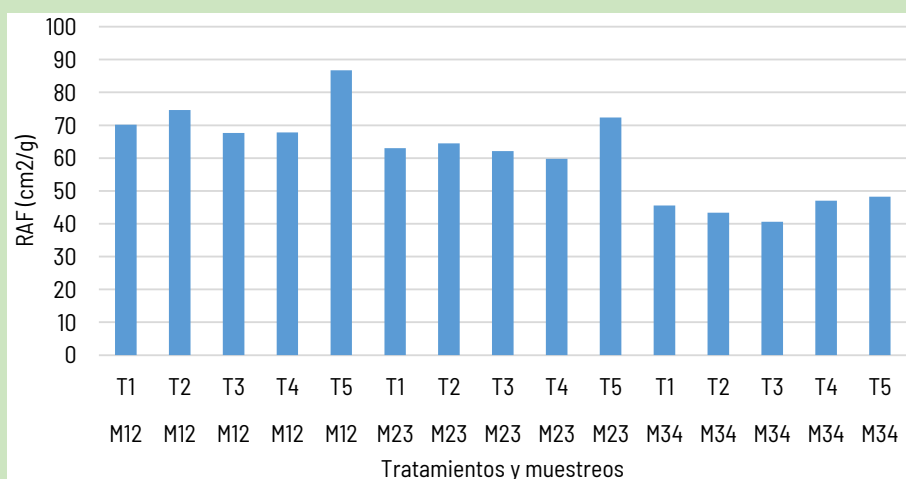


FIGURA 4. Comportamiento de la relación de área foliar (RAF) en plantas de caoba por tratamiento y edad de las plantas (M12 - M34).

Esto pudiera significar que hay una máxima capacidad fotosintética potencial y un bajo costo respiratorio potencial (Clavijo 1989), ya que al comienzo del ciclo de vivero casi todas las hojas están expuestas a la RAF. Las primeras evaluaciones corresponden a la etapa fenológica de desarrollo de hojas, momento en el cual no se ha alcanzado la cobertura total del cultivo.

Lo anterior coincide con la investigación en plantas de maraco (*Theobroma bicolor* H.B.K.), en las que se observó un descenso del Índice en los primeros 72 días y los autores lo atribuyen a que la planta produjo un mayor número de hojas, aunque no de gran tamaño, y esto explicaría la mayor acumulación de materia seca con la menor área foliar (Hernández *et al.*, 1995). La RAF es un indicador del balance entre la capacidad potencial de fotosíntesis y el costo respiratorio; es decir, es una medida de la capacidad fotosintética por unidad de biomasa de la planta (Amanullah *et al.* 2007).

Con el tratamiento de aspersión con GiberGrop®, las plantas alcanzaron de forma más rápida los mayores valores de RAF, desarrollaron su aparato fotosintético en forma más rápida que los demás tratamientos.

### **Tasa de Asimilación Neta (TAN)**

La TAN como indicador de la eficiencia fotosintética promedio, presentó los mayores valores al comienzo del ciclo de vivero en los tratamientos de aspersión solo con agua y el tratamiento ProGibb® 800 mg/L, debido a que las plantas se encontraban en el inicio de la etapa fenológica de desarrollo de hojas, donde la mayoría de estas hojas se encontraban expuestas a la RAF. En posteriores evaluaciones, la TAN aumentó progresivamente durante el segundo y tercer muestreo, sin embargo, se observaron algunas

fluctuaciones, sobre todo en los tratamientos con ProGibb® a 200 y 800 mg/L, probablemente relacionado con la máxima acumulación de materia seca de hojas y tallos en este intervalo de tiempo, garantizado por una eficiencia fotosintética alta (**FIGURA 5**).

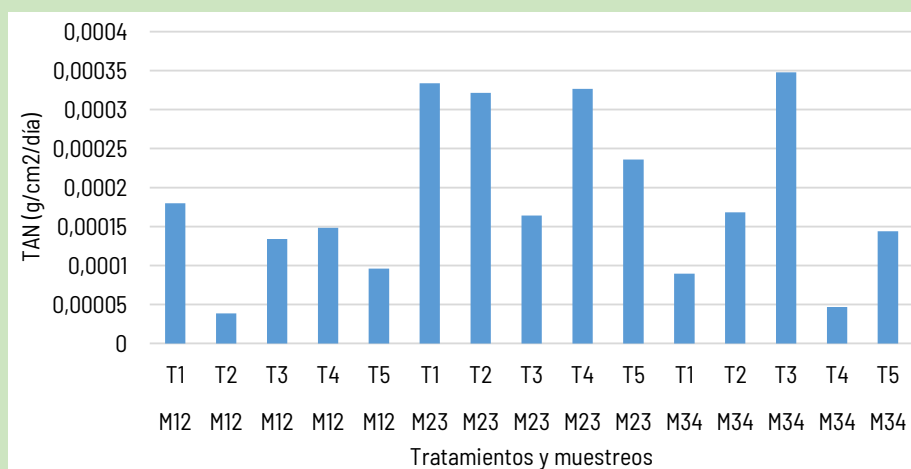
El tratamiento con ProGibb® a 400 mg/L fue el único tratamiento que presentó un aumento gradual y progresivo en todo el ciclo de vivero, lo que indica que con el transcurrir del tiempo mejora su eficiencia fotosintética.

Es característico de algunas especies vegetales su habilidad para almacenar temporalmente metabolitos fotosintéticos y nutrientes en tejidos a lo largo de la vía de transporte entre la fuente y el vertedero, quedando disponible para uso posterior en la planta, ya sea porque la demanda se incrementa o porque la disponibilidad de fotoasimilados se reduce en un momento dado (Wardlaw 1990).

De hecho, los mecanismos fisiológicos se entienden que aplican para la generalidad de las especies vegetales, particularmente en caoba no se cuenta con trabajos de investigación donde se haya analizado esta condición, por lo que la respuesta observada para el tratamiento ProGibb® 400 mg/L sobre el incremento progresivo de la TAN debido al incremento de la materia seca, debe revisarse con mayor detalle para identificar si se atribuye a una mayor actividad de las hojas remanentes (mayor eficiencia fotosintética) resultante del incremento de la potencia de la demanda como resultado del efecto hormonal o a un almacenamiento temporal de fotoasimilados en la vía de transporte.

### **Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)**

Todos los tratamientos, con excepción de ProGibb® a 400 mg/L, presentaron sus valores más



**FIGURA 5.** Comportamiento de la tasa de asimilación neta (TAN) en plantas de caoba por tratamiento y edad de las plantas (M12 - M34).

altos de TCR entre 75 - 105 días de edad de las plantas, esto significa que, en esta etapa de desarrollo, las plantas de estos tratamientos fueron eficientes en la elaboración de nuevo material. En general, estos tratamientos presentaron un comportamiento muy similar en la TCR durante el ciclo, que fueron disminuyendo progresivamente hasta alcanzar los menores valores entre 105 - 135 días de edad, debido a que durante esta etapa se inició la etapa de reducción del crecimiento como producto de que la capacidad del envase no permitía el desarrollo de las plantas, presentando una disminución en la materia seca total de la planta.

El tratamiento con ProGibb® a 400 mg/L fue el único tratamiento que presentó un aumento gradual y progresivo en todo el ciclo de vivero, lo que indica que con el transcurrir del tiempo mejora su eficiencia en la elaboración de nuevo material (**FIGURA 6**).

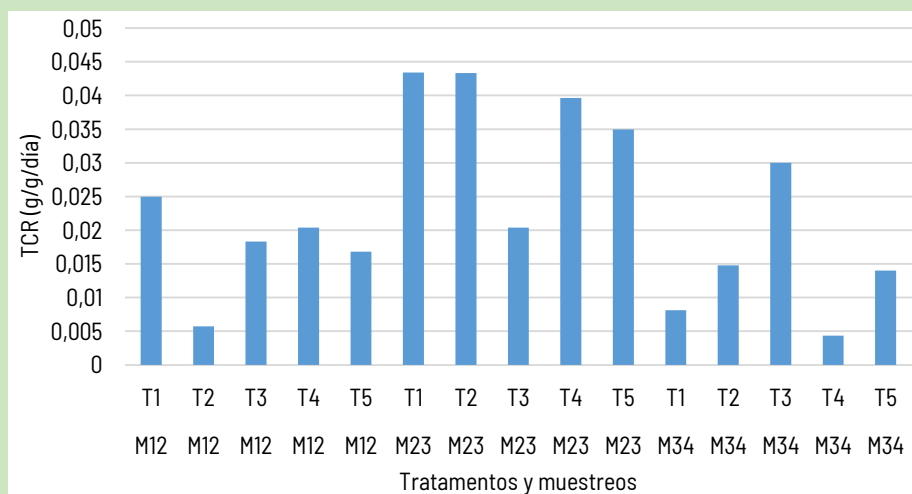
Es decir, la TCR depende de la acumulación de materia seca en el tiempo. La pendiente de la

regresión lineal obtenida cuando se grafica el logaritmo natural del peso seco total en función de los días es TCR (Di Benedetto & Tognetti 2016).

Los bajos valores de la TCR entre 45 - 75 días de edad, son debidos a que, en esta etapa, la planta es pequeña y está gastando sus reservas endospermicas principalmente, con lo cual se presenta un gasto alto de energía debido a la respiración de crecimiento ( $R_c$ ), y adicionalmente empieza a extraer los nutrientes disponibles del sustrato en el cual está sembrada (Abad *et al.* 2004). Como resultado, el metabolismo se acelera con el fin de producir los esqueletos carbonados para su crecimiento (Arp 1991, Salisbury & Ross 1994). Entre 75 - 105 días aumenta la materia seca y a partir de este periodo, la pendiente se suaviza debido a que disminuye la materia seca, con lo cual la respiración metabólica ( $R_m$ ) se hace mayor que en la etapa anterior, y por tanto disminuye la TCR.

Esta tendencia decreciente de la TCR coincide con la reportada por Mazorra *et al.* (2003),





**FIGURA 6.** Comportamiento de la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) en plantas de caoba por tratamiento y edad de las plantas (M12 - M34).

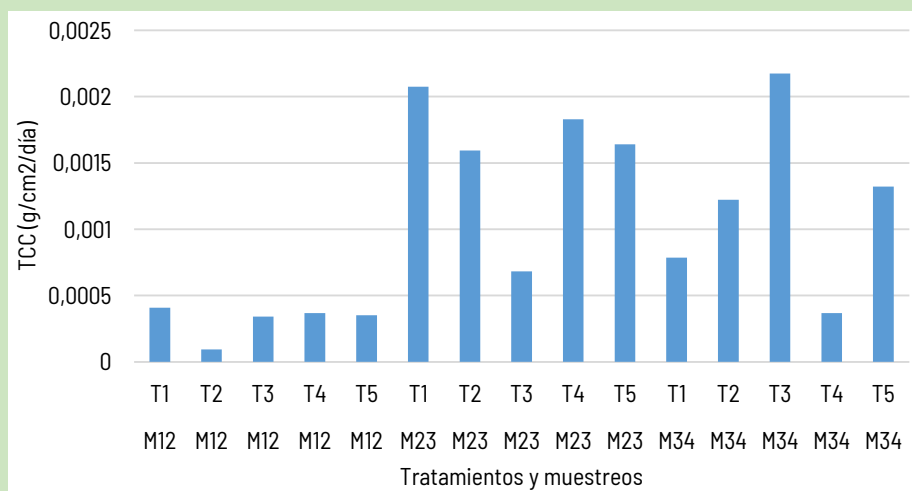
en un estudio realizado en uchuva (*Physalis peruviana*) y con Gil & Miranda (2007) en lechosa (*Carica papaya* L.), con lo cual se concluye que la TCR es un parámetro de crecimiento muy sensible a las condiciones de crecimiento donde se desarrolla el cultivo. Lo cual se observa cuando las raíces se someten a algún tipo de restricción física que limita su expansión y origina un retraso o detrimento en la distribución de fotosintatos, con la consecuente inhibición del crecimiento.

### **Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)**

En general, para todos los tratamientos, se observó que, hasta 75 días de edad el crecimiento de las plantas fue lento debido a que existen pocas hojas en relación con el área de suelo. Esta tasa representa la ganancia en peso de una comunidad de plantas por unidad de área de suelo por unidad de tiempo. A partir de este momento,

se incrementó el área foliar en la misma área de suelo, por tanto, se aumentan los valores de TCC, lo que se observa en la curva como un aumento exponencial. Sin embargo, luego de este incremento exponencial ocurrido entre 75 - 105 días de edad de las plantas, se presenta un decrecimiento en los tratamientos, con excepción de ProGibb® a 400 mg/L (**FIGURA 7**).

Como índice que representa la productividad del cultivo, la TCC indica la eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo (Hunt 1978). El tratamiento con ProGibb® a 400 mg/L fue el único tratamiento que presentó un aumento gradual y progresivo en todo el ciclo de vivero, lo que indica que con el transcurrir del tiempo mejora su eficiencia en la elaboración de nuevo material por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo.



**FIGURA 7.** Comportamiento de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en plantas de caoba por tratamiento y edad de las plantas (M12 - M34).

## CONCLUSIONES

Las dimensiones del envase utilizado para el crecimiento de caoba en vivero (9 cm x 15 cm), retardaron el crecimiento del área foliar y peso seco total después de 120 - 130 días,

Las giberelinas tienen como efecto inicial, en una planta en crecimiento, el incrementar la longitud de los entrenudos. En el caso de plántulas de caoba, la consecuencia directa de una mayor distancia entre los nudos en donde se hallan insertas las hojas, sería una mayor exposición a la luz incidente, que es lo mismo, un menor sombreado entre las hojas de una misma planta. Dado el tipo de hábitat de donde proviene esta especie, bosques de galería o similares, su respuesta a las hormonas vegetales endógenas, particularmente giberelinas y auxinas,

deberían ser estudiadas a fin de reconocer si la aplicación exógena lograría un efecto comparable al que se obtiene en otras especies vegetales como la caña de azúcar o en ornamentales.

El análisis estadístico de los datos resultó ser muy robusto, este es un aspecto muy importante dado el tipo de ensayo planteado. La sensibilidad requerida para el análisis de este tipo de datos permitió ver diferencias aun cuando las condiciones no fueron las más adecuadas para que las plantas expresen el máximo de su potencial de crecimiento. En las tendencias ajustadas para área foliar y acumulación de materia seca total en el tiempo, los modelos de regresión para ambas variables concordaron con un modelo polinomial de tercer grado, en las que se originó la curva típica de crecimiento sigmoide.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, M.; NOGUERA, P. & CARRIÓN, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 113-158. En: Urrestarazu, M. (e.d.) Tratado de cultivos sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- ACOSTA, R.; MENDIZÁBAL L.; ALBA, J.; ALDERETE, A. y LANDERO, N. 2012. Variación de semillas y germinación de *Swietenia macrophylla* King de tres procedencias del estado de Tabasco, México. *Foresta Veracruzana* 14(1): 35-42.
- ALVARENGA, S. & FLORES, E. 1988. Morfología y germinación de la semilla de caoba, *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae) *Rev. Biol. Trop.* 36(2a): 261-267.
- AMADOR, K.; DÍAZ, J.; LOZA S. & BIVIÁN, E. 2013. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). *Polibotanica* 35: 109-131
- AMANULLAH, H.; NAWAB, K. & ALI, A. 2007. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR) of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. *World Applied Sciences Journal* 2(3): 235-243.
- ARP, W. 1991. Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO<sub>2</sub>. *Plant Cell Environ.* 14: 869-875.
- AZCÓN, J. & TALÓN, M. 2013. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda Edición. McGraw-Hill - Interamericana de España, S. L., Madrid, España. 651 p.
- CLAVIJO, J. 1989. Análisis del crecimiento en malezas. *Revista Comalfi* 26: 12-16.
- Di BENEDETTO, A. & TOGNETTI, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA* 42 (3): 258 – 282.
- EVANS, G. 1972. The quantitative analysis of plant growth. *Studies in ecology*. Vol.1. Blackwell Scientific Publication, Londres. pp. 45-68.
- GÁRATE, M. 2010. Técnicas de propagación por estacas. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela Profesional de Agronomía, Ucayali, Peru. 167 p. (Trabajo Monografico para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo)
- GARDNER, F.; PEARCE, R. & MITCHELL, R. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press, USA. 325 p.
- GIL, A. & MIRANDA, D. 2007. Efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1 (2): 142-153.
- HERNÁNDEZ, G.; CASAS, F.; MARTÍNEZ, W. & GALVIS, J. 1995. Análisis y estimación de parámetros e índices de crecimiento del árbol de maraco (*Theobroma bicolor* H.B.K.) a primera floración. *Agronomía Colombiana*, XII (1): 182-191.
- HOFFMANN, W. & POORTER, H. 2002. Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Annals of Botany* 90 (1): 37-42.

- HUNT, R. 1990. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman, Londres. 112 p.
- HUNT, R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- MARTURET, G.; REGALES, B.; VELÁSQUEZ R. & BETANCOURT, C. 2016. Efecto de los reguladores de crecimiento en la morfogénesis in vitro de caoba (*Swietenia macrophylla* King). *Pittieria* 40:164—173
- MAZORRA, M.; QUINTANA, A.; MIRANDA, D.; FISCHER, G. & CHAVES, B. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). *Agronomía. Colombiana*. 21(3): 175-189.
- MONTALDI, E. 1995. Principios de fisiología vegetal. Ediciones Sur, La Plata, Argentina 298 p.
- NIEMBRO, A. 2010. *Swietenia macrophylla* King En: Manual de semillas de árboles tropicales, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal (J.A. Vozzo. Editor). p. 703 – 705.
- O'ROURKE, N.; HATCHER, L.; STEPANSKI, E. 2007. A step by step approach to using SAS for univariate e multivariate statistics, Second Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc. 514 p.
- POORTER, H. & GARNIER, E. 1996, Plant growth analysis: an evaluation of experimental design and computational methods. *Journal of Experimental Botany* 47 (9): 1343-1351.
- RADFORD, P. 1967. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Sci.* 7: 171-175.
- RICHARDS, D. & ROWE, R. 1977. Effects of root restriction, root pruning, and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. *Ann. Bot.* 41: 729-740.
- ROA, J. & KAMP, U. 2012. Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, estado Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 53(1): 109-126.
- SALISBURY, F. & ROSS, C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F. 760 p.
- SÁNCHEZ, G. 2011. Propagación vegetativa de cuatro especies forestales utilizando un propagador de subirrigación. Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Programa en Producción Agroalimentaria en el Trópico, Campus Tabasco. México. 39 p (Tesis de Maestría)
- SANTACRUZ, F.; CASTAÑEDA, J.; GASPAR, A.; NÚÑEZ, N. & MORA, A. 2014. Rompimiento de la dormancia en semillas y propagación in vitro de *Cordia allagoides* A. DC. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5 (25): 84-97.
- SAS Institute Inc. 2003. SAS user's guide: Statistics, version 9.1. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- SCHAFFER, B.; SEARLE, C.; WHILEY, A. & NISSEN, R. 1996. Effects of atmospheric CO2 enrichment and root restriction on leaf gas exchange and growth of banana (*Musa*). *Physiol. Plant.* 97: 685-693.

- SOUDRE, M; GUERRA, H; MUERAS, L; VASQUEZ, A; FLORES, M; MURRIETA, C; VIDAL, F; RIOS, R; PAREDES, O; GUERRA, W; DEL CASTILLO, D; YEPES, F. 2010. Protocolo para el optimo enraizamiento de estaquillas de cinco especies maderables. Proyecto PROVEFOR. IIAP, FINCYT. Ucayali, Pucallpa, Perú.
- STEWART, F. 1969. Analysis of Growth. Behavior of Plants and their Organs Physiology. 1a ed. Academic Press. Nueva York, EEUU. pp. 38-41.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. 2002. Plant physiology. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, MA. 623 p.
- WARDLAW, I. 1990. Tansley Review No. 27 The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist* 116(3): 341-381.