

## ESTIMACION DEL AREA Y DEL PESO SECO FOLIAR EN *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* Y EL HIBRIDO INTERESPECIFICO *E. guineensis* X *E. oleifera*

### Estimation of leaf area and leaf dry weight in species of *Elaeis guineensis* Jacq., *Elaeis oleifera* (Gaert) Bailey and the hibrid *E. Guineensis* X *E. Oleifera*

Angela P. Contreras B.<sup>1</sup>, Germán Corchuelo R.<sup>2</sup>, Orlando Martínez W.<sup>3</sup> y Gerardo Cayón<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá

<sup>2</sup> Profesor Asistente, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. AA 14490. Santafé de Bogotá, Colombia

<sup>3</sup> Profesor Titular, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. AA 14490. Santafé de Bogotá, Colombia

<sup>4</sup> Investigador Asociado, Corpoica. AA 1807. Armenia, Colombia

#### RESUMEN

Este trabajo se planteó con la finalidad de determinar modelos estadísticos que permitan estimar el área y el peso foliar a través de métodos indirectos (no destructivos) en *Elaeis guineensis* (Palma africana), *Elaeis oleifera* (Palma Noli), y el híbrido interespecífico *E. guineensis* X *E. oleifera* (Africana X Noli). Los experimentos de campo se efectuaron en las Haciendas Santa Barbara y Chaparral-Cuernavaca, de la plantación Unipalma, ubicadas en la zona palmera de los llanos orientales en Colombia. Como resultado de la investigación, se obtuvo la validación del modelo propuesto por Corley et al. (1971) y la innovación y ajuste de nuevos modelos que estiman los parámetros de crecimiento sin necesidad de muestreos destructivos. Los modelos propuestos en este trabajo, están ajustados a las condiciones del trópico colombiano.

**Palabras claves:** Palma de aceite, área foliar, peso foliar, parámetros de crecimiento.

#### SUMMARY

This study was focused to determine statistical models for leaf area and leaf dry weight through no destructive methodologies in species of *E. guineensis* (Oil palm), *E. oleifera* (Noli palm) and the interspecific hibrid *E. guineensis* X *E. oleifera* (Oil x Noli). The experiments were developed in Santa Bárbara and Chaparral-Cuernavaca farms belonging to Unipalma plantation, both located in the Colombian east plans. This research allowed to validate the Corley's et al. model (1971) and to adjust new models using non destructive sampling for growth parameters. These models are proposed for these species under Colombian tropical conditions.

**Key words:** Oil palm, leaf area, leaf weight, growth parameters.

#### INTRODUCCION

El estudio de la dinámica del crecimiento individual y poblacional de las plantas hace necesario determinar el tamaño y la actividad de los órganos denominados fuentes y demandas. La magnitud del tamaño de la fuente implica un mayor volumen de carbono a fijar, mientras que una mayor actividad determina la eficiencia del sistema asimilatorio (Wareing y Patrick, 1975; Corchuelo, 1997). El tamaño de la fuente puede ser determinado en términos de área y/o peso foliar a nivel de planta y a nivel de población mediante el índice de área foliar (IAF) (Beadle, 1985; Donald, 1968). La actividad de la fuente es estimada por la tasa de asimilación neta (TAN) o tasa unitaria foliar (TUF) definida por el incremento en peso por unidad de área asimilatoria en un lapso dado y es una estimación indirecta del balance del carbono en la hoja (Beadle, 1985; Hunt, 1978, 1982, 1990; Radford, 1967; Watson, 1947). En *E. guineensis* y *E. Oleifera*, la cuantificación directa de la lámina foliar por medios destructivos permite calcular, con base al análisis clásico o funcional, parámetros fisiológicos como: área foliar por palma, el índice de área foliar, la tasa de asimilación neta, la razón de área foliar (RAF), la densidad específica foliar (DEF) y la razón de peso foliar (RPF), (Beadle, 1985; Williams y Joseph, 1970; Hunt, 1978, 1982, 1990; Radford, 1967; Corchuelo, 1986; Corley, 1976). En Malasia, la competencia por luz en poblaciones de *E. guineensis* parece ser el principal factor determinante de la densidad de población óptima y por lo tanto, el IAF, es la expresión conveniente para determinar el nivel de competencia interpalmas (Hardon, 1976). Rees (1962, 1963) y se observó la razón de la importancia de los tejidos fotosintéticos a "no fotosintéticos" e indica que una alta tasa de asimilación neta puede ser obtenida, si la razón puede ser incrementada, ya que la relación fotosíntesis/respiración se aumentaría. Hardon et al. (1972) utilizaron la RAF codificada como un índice de la participación

de la materia seca vegetativa entre tejidos fotosintéticos y no fotosintéticos. La TAN ha sido considerada como un posible carácter de selección en los programas de mejoramiento de la palma aceitera (Hardon *et al.*, 1972; Corley *et al.*, 1971). Hardon *et al.* (1969) y Corley *et al.* (1971) idearon métodos no destructivos (indirectos) para estimar el área foliar de la palma aceitera y la producción de la materia seca. Estos métodos tienen varias ventajas sobre las técnicas destructivas; primero: las medidas pueden ser repetidas en varias ocasiones, sobre las mismas palmas, conservando el área mínima necesaria del experimento; con métodos destructivos, el tamaño del experimento debe ser incrementado por cada uno de los conjuntos de medidas requeridas. Segundo: El método no destructivo se puede aplicar en la selección de palmas en programas de mejoramiento sin destruir las palmas parentales potencialmente productivas. Tercero: La técnica consume menor tiempo y es menos laboriosa que el análisis destructivo con plantas tan voluminosas como la palma aceitera (Corley, 1976; Chiariello *et al.*, 1989; Norman y Campbell, 1989). El presente estudio tuvo como objetivo determinar modelos estadísticos que permitan estimar el área y el peso foliar mediante técnicas no destructivas en *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* y el híbrido interespecífico *E. guineensis* X *E. oleifera*.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en dos localidades. La primera corresponde a la plantación "La Cabaña", ubicada en la inspección de Presentado, municipio de Cumaral (Meta), bajo condiciones de bosque húmedo tropical (bh-T), a 4° 16' longitud oeste, con una altitud de 305 msnm, temperatura media anual de 27°C, humedad relativa media de 80%, precipitación pluvial promedio de 3500 mm anuales y de 1500 a 2000 horas/año de brillo solar. La segunda, a la plantación "Unipalma", constituida por 2 haciendas, Santa Barbara y Chaparral Cuernavaca. Santa Barbara está localizada en la inspección de Veracruz, municipio de Cumaral (Meta), bajo condiciones de bosque húmedo tropical (bh-T), con altitud de 305 msnm, temperatura media anual de 26°C, humedad relativa media de 78%, precipitación pluvial promedio anual de 2772 mm y 1530 horas/año de brillo solar. Chaparral Cuernavaca está localizada en el municipio de Paratebuena (Cundinamarca), (bh-T), con una altitud de 305 msnm, temperatura media anual de 26°C, humedad relativa media de 78%, precipitación pluvial promedio de 2990 mm anuales y 1530 horas/año brillo solar.

En los ensayos, se utilizaron las especies *E. guineensis* y *E. oleifera* y el híbrido interespecífico *E. guineensis* X *E. oleifera*, Código 352, siembra 1991, recolectado en la plantación "La Cabaña"; el material de Palma Africana (*E. guineensis*) tipo Tenera-Camerum producido por Unilever, siembra 1989 fue tomado en la Hacienda Santa Barbara y el material Nolí (*E. oleifera*), código 3557, siembra 1991, se seleccionó en la Hacienda Cuernavaca-Chaparral. Se escogieron 10 palmas por material, con adecuadas condiciones morfológicas y la toma de muestras se realizó durante seis meses, en los cuales se colectaron treinta hojas por cada genotipo.

## Estimación del área foliar

El área foliar se determinó de tres maneras: área foliar observada (AFO) en m<sup>2</sup>, área foliar estimada (AFE) en m<sup>2</sup> y área foliar calculada (AFCA) en m<sup>2</sup>. La cuantificación del AFO se realizó por el método de la "medida precisa de la superficie de la hoja" (Tailliez y Ballo, 1992). La AFCA se determinó mediante la ecuación propuesta por Corley *et al.*, (1971). La cual es  $AFCA = 0,55 * (n * l_w)$ , donde 0,55 es el factor de corrección; (n) es el total de foliolos de la hoja; (l) es el promedio de las longitudes de los seis foliolos más grandes y (w) es el promedio de los anchos medios de los seis foliolos más grandes.

Para la determinación de la AFE, se propuso un modelo que tiene como base las variables que requiere la fórmula citada. Para el desarrollo del modelo, se tuvieron en cuenta las medidas de los 10 foliolos utilizados en la estimación del AFO y con estos datos y los obtenidos de AFO, se propusieron los modelos de regresión lineal simple sin intercepto de la forma general  $Y = b_i c_i$ ; donde (Y) es la AFE, (b<sub>i</sub>) es igual al parámetro estimado y (c<sub>i</sub>) es el promedio del iésimo foliolo por su respectivo ancho, multiplicado por el número de foliolos totales de la hoja. Al elegir el modelo se tuvo en cuenta la utilidad de aplicación en campo que requiera cálculos sencillos y que cumpla con los parámetros estadísticos, como son R<sup>2</sup> el cual indica la confiabilidad de cualquier modelo; cuadrado medio del error (CME) el cual explica la mayor o menor variabilidad de las fuentes de variación desconocidas; y pruebas de significancia de cada variable en el modelo.

Los modelos propuestos fueron 10 de la forma general  $Y = b_i C_i$  y se presentan a continuación:  $Y = b_1 \times C_1$ ;  $Y = b_2 \times C_2$ ;  $Y = b_3 \times C_3$ ;  $Y = b_4 \times C_4$ ;  $Y = b_5 \times C_5$ ;  $Y = b_6 \times C_6$ ;  $Y = b_7 \times C_7$ ;  $Y = b_8 \times C_8$ ;  $Y = b_9 \times C_9$ ;  $Y = b_{10} \times C_{10}$ :

Donde: C es igual a  $L \cdot w \cdot n$ , donde L es igual al largo del foliolo, w al ancho del foliolo y n es el número total de foliolos de la hoja. El valor de C cambia de acuerdo con el número de foliolos que conforme el promedio. C<sub>10</sub> es el valor que posee la muestra total de los 10 foliolos; a C<sub>9</sub> se le ha sustraído el foliolo más pequeño de la muestra, el tamaño va cambiando, ya que se va eliminando de uno en uno, en orden de tamaño hasta llegar a C<sub>1</sub> que posee el foliolo más largo. De esta manera, C<sub>10</sub>, sería igual a:  $C_{10} = \text{prom.}(L_1, L_2 \dots L_{10}) \times \text{prom.}(w_1, w_2 \dots w_{10}) * n$  y para C<sub>1</sub> =  $L_1 w_1 * n$ .

## Estimación del peso seco de la hoja

Para estimar el peso seco de la hoja, se relacionó el peso seco de la hoja observada (PSHO), el peso seco de la hoja calculada (PSHCA) y el peso seco de la hoja estimado (PSHE). El cálculo del PSHO se realizó con la hoja que ocupaba la posición diecisiete. Para el peso del raquis y los foliolos frescos, de cada uno de ellos se tomó una submuestra; se pesó y se sometió a secado en horno a 100°C durante 24 horas, para llegar a peso seco constante, se pesó y, por estimación indirecta, se obtuvo el peso seco total de la hoja, aplicando la siguiente identidad:

$$PSHO = \frac{\text{Peso fresco hoja} \times \text{Peso fresco submuestra hoja}}{\text{Peso fresco submuestra hoja}}$$

El PSHCA se determinó aplicando la fórmula de Corley *et al.*, de la forma:  $PSHCA = 0.1023P + 0.2062$ ; P es el Ancho del peciolo fresco por el espesor en centímetros, medidos en la unión del raquis con el peciolo.

Para el PSHE, se postularon modelos de regresión simple y múltiple con intercepto y sin intercepto que involucran el ancho (A), por el largo (G) de la sección del raquis de la hoja, los cuales se presentan a continuación:

#### MODELOS CON INTERCEPTO

$$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$$

$$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2$$

$$Y = a + bA + dA^2$$

$$Y = a + cG + eG^2$$

$$Y = a + bA + cG + f(AG)$$

$$Y = a + f(AG)$$

#### MODELOS SIN INTERCEPTO

$$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$$

$$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2$$

$$Y = bA + dA^2$$

$$Y = cG + eG^2$$

$$Y = f(AG)$$

AG = Producto del largo por el ancho.

a, b, c, d, e, f = Parámetros para estimar.

A = largo de la sección del raquis en fresco (cm).

G = Ancho de la sección del raquis en fresco (cm).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Modelos estadísticos para el área foliar

Los estadísticos de los diez modelos para la estimación del área foliar, correspondientes a la palma comercial, se presentan en el cuadro 1. Se observa que todos los modelos tuvieron un  $R^2$  mayor o igual a 0.98\*\*, los cuadrados medios del error muy similares entre sí y oscilaron entre 1,320 y 0,777, el primero asociado con un foliolo y el segundo, con siete foliolos. Según lo anterior, el mejor modelo, desde la perspectiva estadística, sería el de siete foliolos y el de menor evidencia estadística, en el cual se toma solo un foliolo. Sin embargo, desde el punto de vista

práctico económico y sencillo, el de un foliolo sería el óptimo. En general, se podría argumentar que cualquiera de los diez modelos sería adecuado para el estudio de área foliar en términos de la longitud, el ancho de los foliolos y el número de foliolos de la hoja. Pero, como el objetivo es encontrar la mejor predicción del área foliar, se procedió a estimar el área foliar para cada modelo y correlacionar esta predicción con los valores de AFO y las predicciones de AFCA. El coeficiente de correlación lineal simple entre AFO y AFCA fue altamente significativos (0,834\*\*) indicando un alto nivel de asociación entre las predicciones y la correlación es la misma en todos los casos porque el valor estimado por Corley *et al.*, (1971) es igual en todos los casos.

Las correlaciones de AFO y AFE presentaron unos coeficientes que oscilaron entre 0,815 y 0,694 altamente significativos y el de mayor asociación correspondió al de cuatro foliolos y el menor el que utiliza un foliolo. Por consiguiente, el mejor modelo de predicción para palma comercial sería el asociado a cuatro foliolos de la forma  $AFE = 0,944C_4$ .

Los valores estadísticos para los diez modelos del material híbrido se presentan en el cuadro 1. Con  $R^2$  mayores o iguales a 0,95, coeficientes de regresión altamente significativos y CME que oscilaron entre 0,189 y 0,497, exceptuando el CME del modelo asociado a diez foliolos que fue mayor con 1,156. Según esto, el mejor modelo, desde el punto de vista estadístico, es el asociado a siete foliolos al igual que en palma comercial y el de menor confiabilidad estadística, el asociado a diez foliolos. Cualquiera de los diez modelos sería adecuado para el estudio del área foliar en el material híbrido en términos de la longitud, ancho de los foliolos y número de foliolos de la hoja.

Los coeficientes de correlación lineal simple de los modelos propuestos entre AFO y AFCA son altamente significativos (0,812\*\*). Los coeficientes de correlación entre AFO y AFE oscilaron entre 0,809\*\* y 0,461\*\*, siendo los de mayor asociación los del modelo en los cuales se usan ocho foliolos y el de menor asociación el que utiliza diez foliolos; al conciliar estos coeficientes de correlación con las estadísticas  $R^2$ , CME y significancia del coeficiente de regresión, se preferiría el modelo de ocho foliolos cuya expresión algebraica es:  $AFE = 0,639 C_8$ .

La estadística de los diez modelos de predicción para el área foliar del material Noli se presentan en el cuadro 1, muestran

Cuadro 1. Estadística de los modelos de regresión lineal sin intercepto para el área foliar. Palma comercial (*E. guineensis*), Noli (*E. oleifera*) y el híbrido (*E. guineensis* X *E. oleifera*) y en los tres materiales.

MODELO	PALMA COMERCIAL			PALMA NOLI			HIBRIDO			TRES MATERIALES		
	$R^2$	CME	$b_i$	$R^2$	CME	$b_i$	$R^2$	CME	$b_i$	$R^2$	CME	$b_i$
Y = b1 C1	0,988	1,320	0,8927**	0,979	0,360	0,521**	0,978	0,497	0,482**	0,909	4,482	0,679**
Y = b2 C2	0,989	1,154	0,9234**	0,982	0,308	0,530**	0,985	0,331	0,492**	0,904	4,700	0,696**
Y = b3 C3	0,992	0,885	0,918**	0,985	0,251	0,540**	0,986	0,318	0,503**	0,912	4,300	0,707**
Y = b4 C4	0,992	0,809	0,9440**	0,985	0,262	0,555**	0,989	0,244	0,526**	0,919	3,952	0,728**
Y = b5 C5	0,991	0,902	0,9800**	0,984	0,266	0,574**	0,991	0,192	0,544**	0,919	3,991	0,753**
Y = b6 C6	0,992	0,840	1,0900**	0,984	0,273	0,600**	0,992	0,185	0,569**	0,916	4,101	0,790**
Y = b7 C7	0,992	0,777	1,0800**	0,984	0,284	0,636**	0,992	0,171	0,605**	0,920	3,913	0,835**
Y = b8 C8	0,992	0,839	1,1500**	0,984	0,269	0,676**	0,992	0,181	0,639**	0,919	3,955	0,885**
Y = b9 C9	0,992	0,786	1,2400**	0,985	0,258	0,726**	0,991	0,189	0,690**	0,920	3,914	0,950**
Y = b10 C10	0,992	0,863	1,3400**	0,986	0,247	0,788**	0,950	1,156	0,693**	0,901	4,848	1,010**

que los  $R^2$  fueron mayores o iguales a 0,979 y los coeficientes estimados altamente significativos, los CME oscilaron entre 0,247 y 0,360, el primero asociado a diez folíolos y el segundo asociado a un folíolo. Para encontrar la mejor predicción del área foliar se procedió a estimarlo para cada modelo y correlacionar esta predicción con los valores de AFO y las predicciones según AFCA. Los coeficientes de correlación lineal simple entre AFO y AFCA de 0,688 son altamente significativos y los coeficientes de correlación entre AFO y AFE oscilaron entre 0,696 y 0,569 y el de mayor asociación, corresponde a tres folíolos y el de menor asociación a un folíolo. El modelo de predicción del área foliar en material Noli quedará de la forma:  $AFE=0,540 C_1$ .

Se desarrollaron diez modelos generales de área foliar para los tres materiales que, en conjunto, se presentan en el cuadro 1. Todos los modelos presentaron un  $R^2$  que osciló entre 0,901 y 0,920 y los coeficientes estimados son altamente significativos y los CME oscilaron entre 3,913 y 4,848. El primero asociado a siete folíolos y el segundo a diez folíolos. El análisis de correlación lineal simple de las predicciones entre AFO y AFCA son altamente significativas con un coeficiente de 0,982\*\*, y los coeficientes de correlación para AFO y AFE oscilaron entre 0,676 y 0,820 y el de mayor asociación es el relacionado a siete folíolos y el de menor el que utilizó diez folíolos. Por consiguiente el modelo de mayor predicción para los tres materiales fue el asociado con siete folíolos de la forma:  $AFE = 0,835 C_7$ .

De acuerdo con los coeficientes de correlación encontrados, tanto el modelo de Corley *et al.*, (1971) como los propuestos en el actual trabajo, son igualmente válidos para utilizarse sin problema en las condiciones de Trópico Colombiano. Sin embargo, sería conveniente utilizar los modelos de este estudio, ya que está diseñado y ajustado especialmente para nuestras condiciones. El modelo propuesto para estimar el área foliar se puede utilizar con suficiente confianza y tiene la ventaja de que el número de folíolos seleccionados para su estimación es menor a los utilizados por Corley *et al.*, (1971).

### Modelos estadísticos para el peso seco de la hoja

Los coeficientes de regresión asociados al modelo  $R^2$  y CME para la palma comercial se presentan en el cuadro 2. El  $R^2$  de los ocho modelos estadísticos con intercepto oscilaron entre 0,290 y 0,397, lo cual indica una confiabilidad relativamente baja, los coeficientes de regresión no son significativos, el cuadrado medio del error osciló entre 0,059 y 0,067. Según estos valores no son adecuados para la estimación del peso seco de la hoja.

Los modelos sin intercepto tuvieron una confiabilidad mayor, próxima al 97% , los  $R^2$  oscilaron entre 0,975 y 0,977; sin embargo, los coeficientes de regresión no fueron significativos, a excepción del que utiliza la interacción del ancho por el largo de la sección transversal del raquis de la hoja. Los CME fueron muy similares y oscilaron entre 0,059 y 0,591.

El modelo más adecuado desde el punto de vista estadístico es el que utilizó el ancho por el largo de la sección transversal del raquis de la hoja. Como el objetivo es encontrar el modelo que da una buena estimación del peso seco de la hoja a pesar de su

CME alto, se calculó la predicción del PSHE y PSHCA para correlacionarlas con el peso seco de la hoja observada. El resultado de las correlaciones es muy similar: la correlación de PSHO con PSHCA fue de 0,599\*\*, mientras que la correlación entre PSHO con PSHE fue de 0,597\*\*, lo cual indica que el modelo escogido es tan bueno al propuesto por Corley *et al.*, (1971), siendo mejor utilizar el modelo postulado en el presente trabajo, ya que este es ajustado a las condiciones colombianas.

El modelo escogido para la estimación de palma es de la forma:  $PSHE= 0,067(AG)$ . La estadística de los ocho modelos propuestos para el material Híbrido se presenta en el cuadro 3. Se puede observar que, al igual que en el material anterior, los modelos con intercepto presentaron un  $R^2$  bajo, que osciló entre 0,243 y 0,193, y el CME varió entre 0,069 y 0,083. Se puede indicar que los modelos con intercepto para la estimación de peso seco de la hoja no son los adecuados, contrario al modelo propuesto por Corley *et al.* (1971) que posee intercepto.

Los modelos sin intercepto tuvieron un  $R^2$  alto muy similar el cual osciló entre 0,992 y 0,936; sin embargo, el único con coeficiente de regresión altamente significativo fue el que utilizó la interacción del ancho por el largo de la sección transversal del raquis de la hoja y el CME fue de 0,068; el CME para los otros modelos fue similar y osciló entre 0,074 y 0,067 y este modelo es:  $PSHE=0,064 (AG)$ .

Para determinar si el modelo valora una buena predicción de peso seco de la hoja, se estimaron los PSHE y se correlacionaron con los PSHO e, igualmente, se hizo para los valores estimados de PSHCA. Los resultados indican que la correlación entre PSHO-PSHCA no fue significativa y dió un coeficiente de 0,293, mientras que la correlación del PSHO-PSHE fue altamente significativa, con un coeficiente de 0,440. Según lo anterior, el modelo propuesto en este estudio tiene un mayor grado de asociación con los datos reales que el propuesto por Corley *et al.*, (1971).

La estadística de los ocho modelos propuestos para el material Noli se presenta en el cuadro 4. Se observa que el  $R^2$  de los modelos con intercepto es muy bajo, con una oscilación entre 0,575 y 0,349 lo cual no da una buena confiabilidad y los coeficientes de regresión estimados no son significativos. Los modelos sin intercepto dieron un  $R^2$  que osciló entre 0,970 y 0,986, muy buenos y el CME osciló entre 0,015 y 0,029, sin embargo, al igual que en los otros dos materiales, solamente, el modelo que utilizó la interacción tuvo un coeficiente altamente significativo, un  $R^2$  de 0,970 y un CME de 0,029. El modelo quedó de la forma:  $PSHE= 0,085 (AG)$ . Se correlacionaron los valores estimados de PSHCA y PSHE con los valores de PSHO. Estas correlaciones se presentan a continuación:

Modelo	Correlación PSHO-PSHCA	Correlación PSHO-PSHE
$Y=f(AG)$	0.595**	0.591**

\*\* Significativo al 1%.

Se podría argumentar que el modelo propuesto en este trabajo, es similar al postulado por Corley *et al.* (1971). El estimado aquí tiene la ventaja de ser más simple y de mejor expresión agronómica, ya que, al no contar con intercepto, pues con

anchos y grosores cero, se esperaría cero de peso, lo cual no acontece con el modelo de Corley *et al.* (1971). Se estimó un modelo general para los tres materiales, al cual se le realizaron las mismas pruebas que para los modelos de los materiales descritos anteriormente. Como los modelos sin intercepto fueron los mejores para los tres materiales, se procedió a postular un modelo que utilizara la sección del largo por el ancho de la sección transversal del raquis de la hoja. El modelo propuesto es de la forma: PSHE= 0,069 (AG). Este modelo proporciona un  $R^2$  de 0,955 y un CME de 0,064. La correlaciones entre PSHE y PSHCA con el PSHO fueron:

Modelo	Correlación PSHO-PSHCA	Correlación PSHO-PSHE
$Y = f(AG)$	0,772**	0,757**

\*\* significativo al 1%

El presente trabajo valida el modelo de Corley *et al.* (1971) para estimar los parámetros de área foliar y peso seco de la hoja en palma comercial (*E. guineensis*) y, también, lo hace válido para utilizar en otros materiales como son material híbrido y el material Noli. Sin embargo, es conveniente utilizar los modelos propuestos en este trabajo, ya que cumplen con los parámetros estadísticos y están ajustados a las condiciones del trópico Colombiano; por consiguiente, los datos obtenidos serán más ajustados a éstas. Se podría decir que, para tener una buena estimación del peso seco de la hoja, sería mejor utilizar el modelo general, ya que su grado de asociación con los datos reales de peso seco de la hoja es mayor y que, al utilizar el modelo para cada material, a la vez es más acertado que el propuesto por Corley *et al.* (1971).

Cuadro 2. Modelos estadísticos y su estimación para el peso seco de la hoja. Palma Comercial *E. guineensis*

MODELO	$R^2$	CME	a	b	c	d	e	f
$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$	0,397	0,064	6,196ns	-4,914ns	0,880ns	0,717ns	0,048ns	0,003ns
$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2$	0,397	0,062	6,189ns	-4,914ns	0,720ns	0,720ns	-0,047ns	
$Y = a + bA + dA^2$	0,290	0,067	5,340ns	-2,760ns		0,469ns		
$Y = a + bG + dG^2$	0,332	0,063	-1,501ns		0,633ns		0,023ns	
$Y = a + bA + cG + f(AG)$	0,374	0,062	6,022ns	-1,716ns	0,899ns			0,323ns
$Y = a + bA + f(AG)$	0,362	0,060	0,677ns	-0,215ns				0,072ns
$Y = a + cG + f(AG)$	0,359	0,061	0,032ns		0,088ns			0,041ns
$Y = a + f(AG)$	0,356	0,059	0,961ns					0,054ns
$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$	0,977	0,063		-3,139ns	1,899ns	0,640ns	-0,072ns	-0,200
$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2$	0,977	0,061		-2,979ns	1,804ns	0,443ns	-0,122ns	
$Y = bA + dA^2$	0,974	0,066		0,282ns		0,038ns		
$Y = bG + dG^2$	0,975	0,061			0,144ns		0,015ns	
$Y = bA + cG + f(AG)$	0,976	0,061		-0,011ns	0,102ns			0,041ns
$Y = bA + f(AG)$	0,976	0,060		0,113ns				0,049ns
$Y = cG + f(AG)$	0,976	0,59			0,097ns			0,040ns
$Y = f(AG)$	0,976	0,591						0,067**

Cuadro 3. Modelos estadísticos y sus estimaciones para el peso seco de la hoja. Material Híbrido (*E. guineensis* x *E. oleifera*).

MODELO	$R^2$	CME	a	b	c	d	e	f
$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$	0,243	0,077	0,626ns	1,021ns	-0,883ns	-0,323ns	-0,009ns	0,0321ns
$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2$	0,243	0,749	0,120ns	1,169ns	-0,748	-0,085	0,072	
$Y = a + bA + dA^2$	0,239	0,069	-0,457ns	0,356ns		0,037		
$Y = a + bG + dG^2$	0,086	0,083	-0,778ns		0,482		-0,026	
$Y = a + bA + cG + f(AG)$	0,241	0,072	-0,156ns	0,420ns	-0,154			0,040
$Y = a + bA + f(AG)$	0,240	0,069	-0,924ns	0,689ns				-0,013
$Y = a + cG + f(AG)$	0,240	0,069	0,992ns		-0,375			0,121
$Y = a + f(AG)$	0,193	0,071	0,033ns					0,062
$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$	0,936	0,074		0,976	-0,587	-0,262	-0,020	0,255
$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2$	0,936	0,072		1,151	-0,687	-0,082	0,066	
$Y = bA + dA^2$	0,935	0,067		0,060		0,084		
$Y = bG + dG^2$	0,922	0,080			0,155		0,007	
$Y = bA + cG + f(AG)$	0,936	0,069		0,364	-0,185			0,051
$Y = bA + f(AG)$	0,933	0,070		0,146				0,034
$Y = cG + f(AG)$	0,933	0,070			-0,057			0,083
$Y = f(AG)$	0,932	0,068						0,064**

Cuadro 4. Modelos estadísticos y sus estimaciones para el peso seco de la hoja. Material Noli (*E. oleifera*).

MODELO	R <sup>2</sup>	CME	a	b	c	D	E	f
$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$	0,575	0,015	-2,664ns	3,328**	-0,954ns	-0,223	0,330ns	-0,481ns
$Y = a + bA + cG + dA^2 + eG^2$	0,563	0,014	-2,205ns	3,641*	-1,445ns	-0,596*	0,215ns	
$Y = a + bA + dA^2$	0,431	0,017	-4,260*	3,258**		-2,853**		
$Y = a + bG + dG^2$	0,395	0,019	0,582ns		-0,041ns		0,036ns	
$Y = a + bA + cG + f(AG)$	0,458	0,017	-3,148ns	1,241ns	0,971*			-0,286ns
$Y = a + bA + f(AG)$	0,362	0,020	0,761ns	-0,179ns				0,064**
$Y = a + cG + f(AG)$	0,393	0,019	0,109ns		0,213ns			0,003ns
$Y = a + f(AG)$	0,349	0,019	3,826**					0,043**
$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2 + f(AG)$	0,986	0,015		2,575*	-1,776ns	-0,297	0,336ns	-0,193ns
$Y = bA + cG + dA^2 + eG^2$	0,985	0,015		2,778**	1,935*	-0,458*	-0,458**	0,284*
$Y = bA + dA^2$	0,978	0,022		0,406**		-0,838		
$Y = bG + dG^2$	0,981	0,018			0,273**		0,014ns	
$Y = bA + cG + f(AG)$	0,981	0,019		0,069ns	0,221*			0,007ns
$Y = bA + f(AG)$	0,978	0,022		0,259**				0,019ns
$Y = cG + f(AG)$	0,981	0,018			4,179**			-0,205ns
$Y = f(AG)$	0,970	0,029						0,085**

## LITERATURA CITADA

- BEADLE, C. L. 1985. Plant growth analysis. En: Techniques in bioproductivity and photosynthesis (Eds. Coombs, J; Hall, D.O; Long S.P. y Seurlock, M.O.). Pergamon Press. Oxford. p. 20-25.
- CORCHUELO, G. 1986. Análisis del crecimiento. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. (mimeografiado), pp. 8.
- CORCHUELO, G. 1997. Relación fuente-vía-demanda y la distribución de la materia seca En: Primer curso de actualización de fisiología de cultivos (Eds. Clavijo, J. y Villamil, H.) Universidad Nacional de Colombia - COMALFI. pp. 16.
- CORLEY, R. H.; J. J. HARDON y G. TAN. 1971. Analysis of growth of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) estimation of growth parameters and application in breeding. *Euphytica* 20, 307-315.
- CORLEY, R. H.; J. J. HARDON y G. TAN. 1976. Photosynthesis and productivity. En: Developments in crop science. Oil palm research. (Eds. Corley, R. H., Hardon, J.J. y Wood, B.J.). Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. p. 55-76.
- CHIARIELO, N. R., H. A. MOONEY y K. WILLIAMS. 1989. Growth, carbon allocation and cost of plant tissues. En: Plant Physiological Ecology (Eds. Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A. y Rundel, P.W.). Chapman and Hall. London. p. 327-366
- DONALD, C. M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17, 385-407.
- HARDON, J. J. WILLIAMS, C.N. y WATSON, I. 1969. Leaf area and yield in the oil in Malasya. *Expl. Agric.* 5, 25-32
- HARDON, J. J. CORLEY, R. H. y OOI, S.C. 1972. Analysis of growth in oil palm. II. Estimation of genetic variance of growth parameters and yield of fruit bunches. *Euphytica* 21, 252-264.
- HARDON, J. J. CORLEY, R. H. y OOI, S.C. 1976. Oil palm breeding introduction. En: Developments in crop science. Oil palm research. (Eds. Corley, R.H., Hardon, J.J. y Wood, B.J.). Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. p. 89-108.
- HUNT, R. 1978. Plant growth analysis. *Studies in biology*. Edward Arnold. London. pp. 67.
- HUNT, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold (publishers) Limited. London pp. 248.
- HUNT, R. 1990. Basic growth analysis Unwin Hyman. London. pp. 112
- NORMAN, J.M. y CAMPBELL, S.G. 1989. Canopy structure En: Plant physiological ecology (Eds. Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A. y Rundel, P.W.). Chapman and Hall. London. p. 301-326.
- RADFORD, D. J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse *Crop Science* 7, 171- 175.
- REES, A.R. 1962. Dry matter production by evergreen perennials. *Nature* 195, 1118-1119.
- REES, A.R. 1963. An analysis of growth of oil palms under nursery conditions. The effect of spacing and season on growth. *Ann. Bot.* 27, 615-256.
- TAILLIEZ, B. y KOFFI, B. 1992. Un método para medir la superficie foliar de la palma aceitera. *Oleagineux* 47, 543-543.
- WAREING, P.F. y PATRICK, J. 1975. Source- sink relations and partition of assimilates in the plant. En: Photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge. University Press. Cambridge. p. 481-499.
- WATSON, D.J. 1947. Comparative physiology studies of the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between year. *Ann. Bot.* 11, 41-76.
- WILLIAMS, C.N. y JOSEPH, K.T. 1970. Climate, soil and crop production in the humid tropics. Oxford University Press. London. pp. 177.