Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite *(Elaeis guineensis* Jacq.)

Identification of morphological and physiological variables associated with yield in oil palm *{Elaeis guineensis* Jacq.) materials

Iván Mauricio Ayala [1]; Pedro León Gómez [1]

RESUMEN

El trabajo se realizó en la plantación Cuernavaca, en los Llanos Orientales, para evaluar seis progenies de palma de aceite que hacen parte del germoplasma y segregantes que posee la plantación Unipalma. El trabajo se desarrolló durante 1999, con el objetivo de identificar algunas variables fisiológicas, morfológicas y productivas que pudieran estar relacionadas con la productividad. Las variables fisiológicas evaluadas fueron: intercambio de gases (fotosíntesis y transpiración), y para su estudio se utilizó un analizador de gases al infrarrojo LCA4 (Leaf chamber analiser, ADC. U.k. 1997). Las variables morfológicas (altura, diámetro del tallo, área foliar, etc.) se caracterizaron mediante técnicas de análisis de crecimiento, y las variables de rendimiento se estimaron por medio del número y peso de los racimos de cada palma. Las seis progenies presentaron una alta variabilidad en sus tasas tanto fotosintéticas como de transpiración, al ser sometidas a diferentes condiciones ambientales. Algunas progenies presentaron alta sensibilidad a los cambios de humedad del ambiente, pues disminuyeron su tasa fotosintética, mientras que otras no mostraron alteración en la tasa de intercambio de gases y manifestaron un uso más eficiente del agua, características importantes dentro de un programa de cruzamientos. La densidad de estomas se relacionó con las mayores tasas de fotosíntesis, debido a que posee mayor área real de intercambio gaseoso. El área foliar y el peso seco foliar total presentan marcadas diferencias en las progenies, pero su relación con el rendimiento es poco significativa; el área específica muestra mejor correlación con el rendimiento, y la progenie de mayor rendimiento presenta mayor densidad del tejido foliar, además, ofrece la mayor producción de materia seca vegetativa. El índice de racimo se relaciona negativamente con la tasa de emisión de hojas, debido a que depende de la competencia de luz; al existir más hojas en el dosel de la palma, la competencia aumenta y el rendimiento tiende a disminuir. La progenie de menor rendimiento, a pesar de tener buena cantidad de materia seca vegetativa, presentó un bajo número y peso de racimos; por el contrario, una de las progenies de mayor rendimiento presentó un alto número y peso de racimos.

SUMMARY

The work was developed in Cuernavaca Plantation in the Colombian Eastern Plains, to evaluate six progenies of oil palm, which are part of the germoplasm and segregators owned by Unipalma plantation. The work was carried out during 1999, with the objective of identifying some physiological, morphological and production

Invest. Auxiliar. Área Fitomejoramiento y Fisiología Vegetal. Cenipalma. Calle 60 A N° 17 - 50. Barrancabermeja, Colombia.
Director Ejecutivo. Cenipalma. Apartado Aéreo 252171. Bogotá, D.C., Colombia.

variables that could be related to productivity. The physiological variables evaluated were : gas exchange (Photosynthesis and transpiration) and for its study an infrared gas analyzer LCA4 (Leaf Chamber Analyzer, ADC. U.k. 1997) was used. Some morphologic variables (heighf, stem diameter and leaf area, among others) were characterized by a growth analysis and yield variables (bunch number and weight) were also evaluated for each palm. The six progenies presented high variability in its rates both photosynthetic and of transpiration , when subjected to different environmental conditions. Some progenies presented high sensibility to the environmental humidity changes as their photosynthetic rate diminished; while others did not show any alterations on their gas exchange rate and showed a more efficient use of the water, important characteristics in a crossbreeding program. The density of stomata was related to the higher photosynthesis rate, because it has a greater real area of gas exchange. The leaf area and the total dry weight show strong differences in the progenies, but its relation with the yield is not very significant; the specific area shows better correlation with the yield, the progeny of higher yield shows greater leaf tissue density, and also offers the greater production of vegetative dry material. The Bunch Index is negatively related to the rate leaf emission, because it depends on light competence. As more leaves exist in the leaf canopy of the palm, the competence grows and yield tends to go down. The progenies of lower yield, even though they have a good quantity of dry vegetative material, presented a low bunch number and weight, on the contrary, one of the progenies of higher yield presented a high bunch number and weight.

Palabras claves: Palma de aceite. Caracteres de rendimiento, Caracterísitcas agronómicas, Rendimiento, Fotosíntesis, Progenies, índice de racimo.

INTRODUCCIÓN

Los programas de mejoramiento genético en la palma de aceite *(Elaeis guienensis* Jacq.) están orientados al aumento en los rendimientos de la producción de racimos y por tanto en el aumento de la producción de aceite. Pero estos programas de mejoramiento pueden llegar a durar varios años con resultados inciertos en relación con los objetivos inicialmente planteados, lo que involucra, además, altos costos para su realización. A pesar de la alta productividad de la palma de aceite, muy pocos trabajos se han encausado al estudio del comportamiento fisiológico y morfológico de los cultivares y, en particular, temas como la fotosíntesis, la respiración, la transpiración, y los factores del medio ambiente que están afectando los procesos morfofisiológicos de la misma han sido poco explorados. Estos estudios son posibles herramientas para la selección rápida y la manipulación genética de materiales altamente productivos de palma de aceite (Sterling 1993).

En una especie como la palma de aceite cuyo potencial de producción podría estar limitado por la fuente de asimilados fotosintéticos, la manipulación genética de algunos componentes morfológicos y fisiológicos puede permitir un incremento de la tasa fotosintética, lo cual promovería un aumento del potencial de la producción de la especie. Para alcanzar este objetivo se deben tener en cuenta alternativas de selección y mejoramiento para promover la maximización de la tasa fotosintética, una de estas alternativas es la de desarrollar métodos prácticos y eficientes que permitan la medición directa del proceso fotosintético, de modo que puedan ser identificados y seleccionados aquellos genotipos de mayor actividad fotosintética. (Sterling 1993).

En algunas especies vegetales se ha encontrado una intima relación entre las tasas de fotosíntesis y la producción de materia seca. En yuca *{Manihot esculenta* Crantz) se han encontrado correlaciones positivas entre la tasa de fotosíntesis de las hojas y la producción de raíces, con valores de correlación entre 0,65 y 0,58 con una $P<0,05$, indicando así que esta variación genotípica puede ser más explorada y sugiere que en experimentos de campo ésta correlación positiva puede ser utilizada como criterio de selección de parentales que van a producir progenies de alto rendimiento (El- Sharkawy, 1990).

En palma de aceite también se han encontrado evidencias sobre la repartición de los

fotoasimilados, determinando que la producción de materia vegetativa es la responsable de la producción reproductiva, debido a que la producción adicional de asimilados de las partes vegetativas son usados preferiblemente en la producción de racimos (Corley *et al.* 1971).

Lamade et *al.* (1996) realizaron mediciones de la fotosíntesis y de la conductancia estomática, en Costa de Marfil y en Norte de Sumatra, en tres clones de palma de aceite morfológicamente diferentes. Los resultados muestran valores altos de fotosíntesis en uno de los clones (31,6 mmol m^2s^{-1} en el Norte de Sumatra y de 23,7 mmol m^2s^{-1} en Costa de Marfil), que pueden estar influenciados por la variación marcada del medio ambiente de cada uno de los sitios, principalmente la humedad, la radiación y la temperatura; y además puede explicar las altas producciones en el norte de Sumatra, en donde las condiciones pueden ser optimas para el desarrollo de la palma de aceite. Según los autores, las diferencias de comportamiento fisiológico de estos clones pueden ser usadas como un posible criterio para la selección y el mejoramiento de la palma.

Smith (1993) en un ensayo realizado en Zaire, en 1988, utilizando seis progenitores, realizaron mediciones de variables fisiológicas (conductancia estomática y tasas de fotosíntesis) y algunos de rendimiento (índice de cosecha, índice de racimo y rendimiento), encontró en una de las progenies una correlación positiva entre las tasas de fotosíntesis y la conductancia estomática con el rendimiento, representada en biomasa total, pero no existió una correlación positiva entre la fotosíntesis y la conductancia con el índice de cosecha y el índice de racimo.

Por lo tanto, el desarrollo de esta investigación pretende caracterizar el comportamiento morfológico y fisiológico de seis progenies de palma de aceite con el objetivo de evaluar estos parámetros independientemente, y posteriormente su relación con variables productivas de los mismos, y determinar las condiciones del medio ambiente favorables para el funcionamiento óptimo de los procesos fisiológicos bajo condiciones de los Llanos Orientales colombianos. Con los siguientes objetivos:

1. Evaluar e identificar el comportamiento de algunas variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento.

2. Caracterizar el comportamiento fisiológico y morfológico de seis selecciones de palma de aceite *(Elaeis guineensis* Jacq.).

3. Caracterizar la producción de racimos de seis selecciones de palma de aceite *(Elaeis gineensis* Jacq.), evaluando el número, peso fresco y seco del racimo.

4. Correlacionar las variables fisiológicas y morfológicas con las variables de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la plantación Cuernavaca, perteneciente a la empresa Unipalma de Los Llanos S.A., ubicada en el municipio de Paratebueno, departamento de Cundinamarca, Colombia, a 4° 19' 57 de latitud Norte y a 73° 13' 43 de longitud Oeste, a una altura de 280 msnm, con temperatura media anual de 26°C; precipitación media anual de 3.721 mm, y esta clasificada como bosque húmedo tropical (bh-T).

En la plantación Unipalma de los Llanos S.A. existen varias pruebas de progenies, las cuales fueron sembradas por la empresa privada en producción de semilla de palma de aceite Unilever Plantations del Reino Unido, y denominadas con la sigla CPT (Colombian Progenie Trial). Las mediciones de los parámetros fisiológicos, morfológicos y de rendimiento se realizaron en el ensayo de progenies: Colombian Progenie Trial 9. Las selecciones ubicadas en la prueba de progenie CPT 9 son materiales de palma de aceite resistentes a fusariosis y además poseen un alto índice de racimo.

La prueba de progenie CPT 9 tiene un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, el cual fue aprovechado para realizar el ensayo, con una área total de 11,1 hectáreas, 48 palmas por parcela, con 4 repeticiones y un total de 33 progenies, de las cuales se seleccionaron 16 para los registros de

rendimiento y seis para los de intercambio de gases (fotosíntesis y transpiración)

Para las mediciones de las variables de fotosíntesis y de transpiración es suficiente con caracterizar ocho palmas por cada una de las progenies, por tal razón se decidió tomar 16 palmas, cuatro en cada repetición. La selección de estos seis materiales se hizo teniendo en cuenta los datos de producción que se colectaron durante el ensayo. Se escogieron 2 progenies altamente productivas, 2 de producción intermedia y 2 de baja producción.

Variables fisiológicas

Medición de la velocidad de fotosíntesis y la transpiración

Para las mediciones de la velocidad de fotosíntesis y la transpiración se utilizó el equipo portátil de intercambio de gases « Leaf Chamber Analyser tipo LCA4» de la ADC (Analytical Developments Company, 1996). Su funcionamiento es el siguiente: Una bomba dentro del equipo impulsa el aire desde la antena a 3,5 metros de altura con el fin de no contaminar el aire que se va a analizar. Parte de este aire es conducido hasta la cámara de la hoja PLC 4 y luego va hasta el analizador de gases de infrarrojo (IRGA). La otra porción del aire va directamente al IRGA, donde es analizado de modo diferencial, es decir se establece la diferencia entre la concentración de $C0_2$ del aire del ambiente y el que sale de la cámara después de haber pasado por la hoja (Mejía 1994).

Las mediciones se realizaron en la parte central de los folíolos del tercio intermedio de la hoja 9 (según la filotaxia de la palma de aceite), por ser ésta la de mayor tasa de fotosíntesis y de conductancia estomática (Henson y Ruiz 1998; Lamade y Setiyo 1996; Dufrene y Saugier 1993; Dufrene et al. 1990).

Los folíolos se cortaron con un cuchillo adaptado a una vara extensión de aluminio de 6 metros de largo que permite alcanzar la altura de la hoja, e inmediatamente se realizaron las mediciones. Este procedimiento puede ser realizado porque los folíolos después de cortados mantienen sus tasas de fotosíntesis y conductancia estomática por un máximo de cuatro minutos sin registrar cambios significativos (Smith 1993 a,b; Dufrene y Sauger 1993; Setiyo et al. 1996) e inmediatamente se introduce el folíolo dentro de la cámara de la hoja (camara de Parkinson) y en el momento que los datos mostrados en la pantalla del LCA4 se estabilicen (alrededor de 80 segundos) se procede a grabar lo valores de las mediciones. Los cálculos de fotosíntesis y transpiración son realizados en el software interno del LCA 4 (Analytical Developments Company, 1996).

Las mediciones se tomaron en 16 palmas de cada progenie, aunque algunos autores sugieren que es suficiente tomar ocho palmas para caracterizar un material. (Lamade et al. 1996; Lamade 1996; Dufrene y Saugier 1993).

Las mediciones de las variables de intercambio de gases están limitadas por los siguientes factores: las horas de las mediciones están comprendidas entre las 7:30 a.m. y la 1:30 p.m., debido a que en estas horas se registran valores bajos de déficit de humedad el cual es uno de los principales limitantes en la actividad fotosintética, (Henson y Ruiz 1998; Smith 1989; Dufrene y Saugier 1993) y por consiguiente dentro de este rango de horas se encontraron las tasas máximas de fotosíntesis.

Únicamente se colectaron datos con intensidades de Radiación Fotosintéticamente Activa mayores a 1100 mmol m^2s^{-1}, por estar sobre el punto de saturación de luz fotosintético. (Setiyo et al. 1996; Henson 1995, Henson y Ruiz 1998).

Medición de las variables de rendimiento

Para la medición de los variables de rendimiento se tomaron datos del peso fresco de los racimos, Estos registros se realizaron con una periodicidad de 8 a 15 días.

El registro de rendimiento se realizo en 21 palmas por progenie. Para el cálculo del peso seco del racimo se utilizo la metodología de Corley et al. (1971). Dentro de las variables de rendimiento se calculó el índice de racimo, que es la proporción del peso seco de los racimos con

respecto a la producción total anual de materia seca por palma.

Medición de Variables Morfológicas

Algunas de las variables morfológicas se realizaron directamente en las palmas y otras se calcularon por medio de las ecuaciones de análisis de crecimiento para la palma de aceite generadas por Corley et al (1971) y Hardon et al. (1969), las cuales utilizan una metodología semidestructiva.

Las determinaciones del área foliar en la palma adulta se realizan en la hoja 17, según la filotaxia de la palma de aceite, debido a que estructuralmente esta es la hoja más madura y representativa de la palma; en esta hoja también se calculó el peso seco foliar y el área específica, que es la relación entre el área foliar y el peso seco foliar, también es conocido como área fotosintéticamente efectiva. El área específica también indica la densidad del tejido foliar, al ser menor este valor, está indicando que el tejido puede tener un mayor espesor.

Dentro de las variables morfológicas se tuvo en cuenta la materia seca vegetativa total , que es la sumatoria del dosel de las hojas de la palma, más la materia seca destinada al estípite en el período de un año, y se calculó por medio de la metodología de Corley et al (1971).

La densidad estomática se realizó utilizando un microscopio de luz con un aumento de 40X. La metodología que se utilizó fue la de réplicas, utilizando una laca aplicada sobre la superficie de los folíolos, la cual se retira con una cinta adhesiva y posteriormente se monta sobre un vidrio portaobjetos. (Santacruz y Cock 1982). Para este procedimiento se utilizaron 16 palmas de cada progenie y de cada palma se tomaran dos folíolos (en el mismo sitio donde se realizan las mediciones de intercambio gaseoso).

Análisis estadísticos

Para los análisis estadísticos se utilizo el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc.1996). Para encontrar diferencias entre las progenies se realizaron análisis de varianza para cada una de las variable medidas, y además se realizo una prueba de separación de promedio (Duncan) dentro de este paquete de análisis de correlación (PROC CORR), en el cual se correlacionaron las variables fisiológicas, morfológicos y de rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de las variables fisiológicas

Fotosíntesis y transpiración

En la Figura 1 se presentan las tasas de fotosíntesis de seis progenies, en las cuales se puede apreciar que el comportamiento fisiológico de éstas bajo diferentes condiciones de humedad del ambiente (déficit de presión de vapor), siendo algunas progenies más sensibles a estos cambios de humedad, como son las progenies 1873 y el 1905, las cuales disminuyen drásticamente sus tasas fotosintéticas a medida que la humedad disminuye.

Comportamiento similar encontraron Lamade eí *al.* (1996) en tres clones de palma de aceite. Esto es contrario a lo que se aprecia en las progenies 2080 y 1797, en las cuales las tasas de fotosíntesis no presentan grandes variaciones. Indicando que no todas las condiciones diferenciales de humedad afectan por igual a las progenies de palma de aceite y evidencia que las progenies que no presentan sensibilidad al déficit de presión de vapor pueden ser aprovechadas en zonas donde se presente baja humedad relativa.

En la Tabla 1 se puede apreciar que entre las progenies existen diferencias significativas en las tasas netas de fotosíntesis, corroborando con estos datos que la fotosíntesis es una característica genotípica que está dependiendo de la interacción con el ambiente.

La tasa de fotosíntesis neta (Tabla 1) y las de fotosíntesis máxima (Fig. 1) en comparación a las que reportan Dufrene et al. (1990) con tasas máximas de 23,7 Limol $C0_2$ m^2/s^{-1} en palmas de igual edad no son tan altas debido a que se realizaron en la época crítica del verano. La selección 1797, que fue escogida por su baja productividad, es la que presenta una mejor tasa

bles área foliar y peso seco foliar en las seis progenies de palma de aceite (Tabla 2).

Tabla 2. Promedios de los valores de Área foliar y Peso seco foliar en seis selecciones de palma de aceite.

Progenie	Área Foliar hoja 17 (m^2)	Área Foliar total (m^2)	Peso seco foliar hoja 17 (kg)	Peso seco foliar total (kg)
1797	7,01 cb*	186,26 a	2,22 cb	59,15 b
1922	6,8 c	146,12 b	2,15 c	46,34 cb
1873	7,77 cb	143,36 b	2,27 cb	42,07 c
2080	8,03 b	154,84 b	2,71 b	cb
2078	7,84 cb	143,36 b	2,63 cb	47,68 cb
1905	9,34 a	222,99 a	3,96 a	85,72 a
	c.v:15,10	c.v:16,7%	c.v:20,34	c.v:22,20%
	p=0,001	p= 0,0068	p=0,0001	p=0,0004

* Los valores con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales, según la prueba de Duncan.

Se presentaron diferencias entre las selecciones 1905 y 1797, en área foliar de la hoja 17, pero cuando se calcula el área foliar total en un año, teniendo en cuenta los valores de la emisión foliar muestran que el área foliar entre estas dos selecciones es similar.

Al realizar los cálculos de peso seco foliar se encontró que la selección 1905 además de presentar la mayor área tanto individual, como total que presenta una de las menores tasas fotosintéticas.

Shibles et al,1988; Ford et al, 1988 y Porras, C.A, 1996, en cultivares de soya *Glicine max* afirman que una mayor área foliar no es determinante para que se presente una mayor fotosíntesis, sino que existen otros factores involucrados como la concentración de proteínas solubles, la actividad de la Rubisco, la cantidad de cloroplastos por unidad de área, los que pueden estar ejerciendo un control sobre la actividad fisiológica de la plantas.

Área especifica

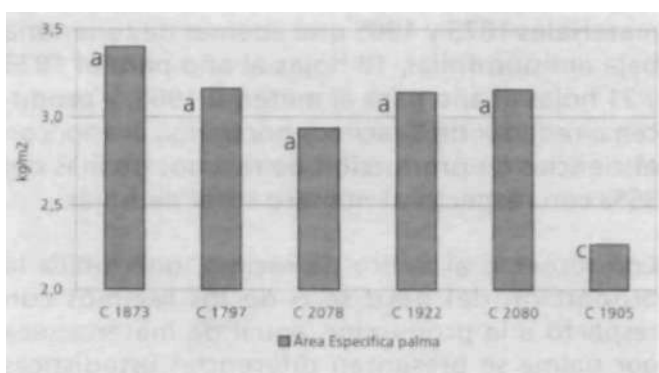
El área específica presenta diferencias estadísticamente significativas entre la selección 1905 y las demás selecciones. Éste bajo valor del área específica, de 2,3 kg/m^2 (Fig. 3) indica que la densidad de estas hojas es mucho mayor, pudiendo suponer que la cantidad de fotoasimilados de estas hojas es mayor y que su grosor también puede ser diferente a de las otras selecciones.

Este incremento del área específica indica una mayor cantidad de masa por unidad de área foliar e implica una mayor cantidad de cloroplastos , enzimas etc. (Henson 1991).

Materia Seca Vegetativa total

Al calcular la materia seca vegetativa total (MSVT) se presentan diferencias estadísticamente significativas, teniendo a la progenie 1905 con 122 kg de peso seco/palma/año, comparándolo con la selección 1797, la cual presenta una menor acumulación de materia seca con 84 kg de peso seco/palma/año.

El alto valor de la MSVT de la progenie 1905 está determinado por su alta área específica (mucho más denso el tejido foliar), que está influenciada por el peso seco foliar y por la altura que estuvo en el orden de los 446 cm. Teniendo en cuenta que ésta mayor altura es responsable, en parte, del alto valor de materia seca vegetativa, debido a que el tronco de las palmas es un órgano de almacenamiento de nutrientes, que presenta grandes cantidades de carbohidratos, nitrógeno y potasio (Umaña 1996), el cual puede ser un directo proveedor (fuente) de fotoasimilados que se dirigen al racimo.



* Las columnas con igual letra no presentan diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Duncan. p=0 005

Figura 3. Comportamiento del Area específica en seis selecciones de palma de aceite.

Comportamiento de las variables de rendimiento

Durante los doce meses de cosecha se evaluaron 16 selecciones con el fin de seleccionar 6 que presentaran comportamientos diferentes con respecto a esta variable, seleccionando así dos materiales con un buen rendimiento, dos materiales con un aceptable rendimiento y dos que presentaran un deficiente rendimiento.

Tabla 3. Rendimiento en la prueba de progenie CPT 9.

Selección	Peso Total (kg)	Peso promedio de racimo (kg)	Número de palmas	Número total de racimos	Rendimiento (t/palma/año)	#rac/ palma/año
c 1873	2225,0	15,14	20	147	19,09	8,8
c 1797	1282,2	13,50	21	95	10,48	5,4
c 1751	1663,6	13,75	21	121	13,59	6,9
c 1871	1612,9	14,03	21	115	13,18	6,6
c 1840	1759,9	11,14	21	158	14,38	9,0
c 1955	1444,9	15,88	20	91	12,40	5,5
c 2078	1803,3	15,68	21	115	14,74	6,6
c 1914	1486,2	14,86	20	100	12,75	6,0
c 1922	1781,5	12,46	21	143	14,56	8,2
c 1954	1988,8	11,70	20	170	17,06	10,2
c 1911	1979,3	15,34	20	129	16,98	7,7
c 1869	1690,6	15,09	20	112	14,51	6,7
c 2080	1271,9	16,96	19	75	11,49	4,7
c 1905	2584,4	19,58	18	132	24,64	8,8
c 1816	1692,4	12,26	21	138	13,83	7,9
c 1999	1816,1	18,34	21	99	14,84	5,7

En la Tabla 3, se encuentra que la progenie 1905, además de tener la mayor producción de racimos, es la de mayor peso medio, cuyo valor es aceptable para su procesamiento en la extractora de aceite (24,64 kg); además, en programas de mejoramiento el peso medio del racimo se utiliza como un criterio de selección, para buscar progenitores de alto peso de racimo y otros de alto número, para tener palmas tanto de alto numero de racimo como de alto peso (Umaña 1996). Estas características las presenta la selección 1905.

La selección 1797 presentó un bajo rendimiento, tanto en el número como en el peso de los racimos, y sólo produjo 5,4 racimos/palma/año, y teniendo en cuenta que su producción de hojas al año es de 26, se obtiene que sólo un 20% de las hojas que han formado racimo (en cada base de hoja se forma una flor), en contraposición a los materiales 1873 y 1905 que además de tener una baja emisión foliar, 18 hojas al año para el 1873 y 21 hojas al año para el material 1905, y producen alrededor de 8 racimos por palma al año, con eficiencias de producción de racimos de mas del 35% con respecto al número total de hojas.

Con respecto al índice de racimo, que indica la proporción del peso seco de los racimos con respecto a la producción anual de materia seca por palma se presentan diferencias estadísticas altamente significativas al evaluar esta variable, lo cual indica que la selección 1873 es la más eficiente con respecto a esta variable, debido a que éste alto valor (0,6028) indica que muy buena parte de los fotoasimilados producidos son distribuido a los racimos.

Pero los altos valores del índice de racimo están relacionados con la competencia por luz, pues Corley (1976) y Smith (1996) encontraron que altos valores del índice de racimo están relacionados con una menor interferencia entre palmas, que es el caso de la progenie 1873, y la relación fuente-demanda es mayor (dirigida hacia los racimos).

La selección 1905 a pesar de no tener un alto valor de índice de racimo, y ser la de mayor producción de materia seca reproductiva (racimos), también es la de mayor producción de materia seca vegetativa, pudiendo ser esta la explicación para el valor de esta variable, con una buena relación fuente - vertedero.

Tabla 4. Comportamiento del indice de racimo para seis selecciones de palma de aceite.

Progenie	Índice de Racimo
C 1873	0,6028* a
C 1797	0,4637 d
C 2078	0,6259 b
C 1922	0,6005 bc
C 2080	0,5623 cd
C 1905	0,5847 c

* Los valores seguidos con la misma letra no difieren estadísticamente uno del otro, según prueba de Duncan, c.v: 29,8%; p= 0.05.

bles área foliar y peso seco foliar en las seis progenies de palma de aceite (Tabla 2).

Tabla 2. Promedios de los valores de Área foliar y Peso seco foliar en seis selecciones de palma de aceite.

Progenie	Área Foliar hoja 17 (m^2)	Área Foliar total (m^2)	Peso seco foliar hoja 17 (kg)	Peso seco foliar total (kg)
1797	7,01 cb*	186,26 a	2,22 cb	59,15 b
1922	6,8 c	146,12 b	2,15 c	46,34 cb
1873	7,77 cb	143,36 b	2,27 cb	42,07 c
2080	8,03 b	154,84 b	2,71 b	cb
2078	7,84 cb	143,36 b	2,63 cb	47,68 cb
1905	9,34 a	222,99 a	3,96 a	85,72 a
	c.v:15,10	c.v:16,7%	c.v:20,34	c.v:22,20%
	p=0,001	p= 0,0068	p=0,0001	p=0,0004

Los valores con igual letra en la misma columna son estadísticamente Iguales, según la prueba de Duncan.

Se presentaron diferencias entre las selecciones 1905 y 1797, en área foliar de la hoja 17, pero cuando se calcula el área foliar total en un año, teniendo en cuenta los valores de la emisión foliar muestran que el área foliar entre estas dos selecciones es similar.

Al realizar los cálculos de peso seco foliar se encontró que la selección 1905 además de presentar la mayor área tanto individual, como total que presenta una de las menores tasas fotosintéticas.

Shibles et al,1988; Ford *et al*, 1988 y Porras, C.A, 1996, en cultivares de soya *Glicine max* afirman que una mayor área foliar no es determinante para que se presente una mayor fotosíntesis, sino que existen otros factores involucrados como la concentración de proteínas solubles, la actividad de la Rubisco, la cantidad de cloroplastos por unidad de área, los que pueden estar ejerciendo un control sobre la actividad fisiológica de la plantas.

Área especifica

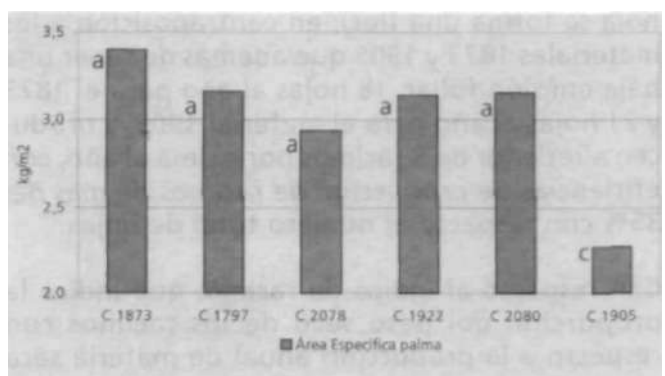
El área específica presenta diferencias estadísticamente significativas entre la selección 1905 y las demás selecciones. Éste bajo valor del área específica, de 2,3 kg/m^2 (Fig. 3) indica que la densidad de estas hojas es mucho mayor, pudiendo suponer que la cantidad de fotoasimilados de estas hojas es mayor y que su grosor también puede ser diferente a de las otras selecciones.

Este incremento del área específica indica una mayor cantidad de masa por unidad de área foliar e implica una mayor cantidad de cloroplastos , enzimas etc. (Henson 1991).

Materia Seca Vegetativa total

Al calcular la materia seca vegetativa total (MSVT) se presentan diferencias estadísticamente significativas, teniendo a la progenie 1905 con 122 kg de peso seco/palma/año, comparándolo con la selección 1797, la cual presenta una menor acumulación de materia seca con 84 kg de peso seco/palma/año.

El alto valor de la MSVT de la progenie 1905 está determinado por su alta área específica (mucho más denso el tejido foliar), que está influenciada por el peso seco foliar y por la altura que estuvo en el orden de los 446 cm. Teniendo en cuenta que ésta mayor altura es responsable, en parte, del alto valor de materia seca vegetativa, debido a que el tronco de las palmas es un órgano de almacenamiento de nutrientes, que presenta grandes cantidades de carbohidratos, nitrógeno y potasio (Umaña 1996), el cual puede ser un directo proveedor (fuente) de fotoasimilados que se dirigen al racimo.



* Las columnas con igual letra no presentan diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Duncan. p=0.005

Figura 3. Comportamiento del Área específica en seis selecciones de palma de aceite.

Comportamiento de las variables de rendimiento

Durante los doce meses de cosecha se evaluaron 16 selecciones con el fin de seleccionar 6 que presentaran comportamientos diferentes con respecto a esta variable, seleccionando así dos materiales con un buen rendimiento, dos materiales con un aceptable rendimiento y dos que presentaran un deficiente rendimiento.

Tabla 3. Rendimiento en la prueba de progenie CPT 9.

Selección	Peso Total (kg)	Peso promedio de racimo (kg)	Número de palmas	Número total de racimos	Rendimiento (t/palma/año)	#rac./ palma/año
c 1873	2225,0	15,14	20	147	19,09	8,8
c 1797	1282,2	13,50	21	95	10,48	5,4
c 1751	1663,6	13,75	21	121	13,59	6,9
c 1871	1612,9	14,03	21	115	13,18	6,6
c 1840	1759,9	11,14	21	158	14,38	9,0
c 1955	1444,9	15,88	20	91	12,40	5,5
c 2078	1803,3	15,68	21	115	14,74	6,6
c 1914	1486,2	14,86	20	100	12,75	6,0
c 1922	1781,5	12,46	21	143	14,56	8,2
c 1954	1988,8	11,70	20	170	17,06	10,2
c 1911	1979,3	15,34	20	129	16,98	7,7
c 1869	1690,6	15,09	20	112	14,51	6,7
c 2080	1271,9	16,96	19	75	11,49	4,7
c 1905	2584,4	19,58	18	132	24,64	8,8
c 1816	1692,4	12,26	21	138	13,83	7,9
c 1999	1816,1	18,34	21	99	14,84	5,7

En la Tabla 3, se encuentra que la progenie 1905, además de tener la mayor producción de racimos, es la de mayor peso medio, cuyo valor es aceptable para su procesamiento en la extractora de aceite (24,64 kg); además, en programas de mejoramiento el peso medio del racimo se utiliza como un criterio de selección, para buscar progenitores de alto peso de racimo y otros de alto número, para tener palmas tanto de alto numero de racimo como de alto peso (Umaña 1996). Estas características las presenta la selección 1905.

La selección 1797 presentó un bajo rendimiento, tanto en el número como en el peso de los racimos, y sólo produjo 5,4 racimos/palma/año, y teniendo en cuenta que su producción de hojas al año es de 26, se obtiene que sólo un 20% de las hojas que han formado racimo (en cada base de hoja se forma una flor), en contraposición a los materiales 1873 y 1905 que además de tener una baja emisión foliar, 18 hojas al año para el 1873 y 21 hojas al año para el material 1905, y producen alrededor de 8 racimos por palma al año, con eficiencias de producción de racimos de mas del 35% con respecto al número total de hojas.

Con respecto al índice de racimo, que indica la proporción del peso seco de los racimos con respecto a la producción anual de materia seca por palma se presentan diferencias estadísticas altamente significativas al evaluar esta variable, lo cual indica que la selección 1873 es la más eficiente con respecto a esta variable, debido a que éste alto valor (0,6028) indica que muy buena parte de los fotoasimilados producidos son distribuido a los racimos.

Pero los altos valores del índice de racimo están relacionados con la competencia por luz, pues Corley (1976) y Smith (1996) encontraron que altos valores del índice de racimo están relacionados con una menor interferencia entre palmas, que es el caso de la progenie 1873, y la relación fuente-demanda es mayor (dirigida hacia los racimos).

La selección 1905 a pesar de no tener un alto valor de índice de racimo, y ser la de mayor producción de materia seca reproductiva (racimos), también es la de mayor producción de materia seca vegetativa, pudiendo ser esta la explicación para el valor de esta variable, con una buena relación fuente - vertedero.

Tabla 4. Comportamiento del índice de racimo para seis selecciones de palma de aceite.

Progenie	Índice de Racimo
C 1873	0,6028* a
C 1797	0,4637 d
C 2078	0,6259 b
C 1922	0,6005 bc
C 2080	0,5623 cd
C 1905	0,5847 c

* Los valores seguidos con la misma letra no difieren estadísticamente uno del otro, según prueba de Duncan, c.v: 29,8%; p= 0,05.

En el resto de las progenies se presentan valores estadísticamente similares, corroborando la segregación de estas progenies de alto índice de racimo.

Correlaciones entre las variables de respuesta morfológicas, fisiológicas, con respecto a las variables de rendimiento

Las correlaciones entre el área foliar total y el índice de racimo de -0,26 indica que a menor tamaño de las hojas aumenta la relación del índice de racimo, encontrando que con mayores valores de área se pueden presentar interferencias entre las palmas, disminuyendo el índice de racimo, confirmando a Corley (1976).

El área foliar correlacionó positivamente con la producción con valores superiores al 30% , encontrando que a mayor área mayor es la producción en ese porcentaje de la población muestreada, valores similares encontró, Corley *et al.* (1971), con correlaciones positivas del 35%.

También se presentan alta significancia entre el peso seco y la producción con valores de 0,328 y a su vez muy relacionada con la producción de materia seca productiva total con 0,20.

La altura del tronco (estípite) correlacionó positivamente con la producción con valores de 0,25, dentro de este porcentaje se encuentra la progenie 1905, la cual además de ser la de mayor producción de materia seca reproductiva, es la que presenta las mayores alturas del estípite.

La longitud del raquis de la hoja correlacionó positivamente con la producción, con un valor del 37 %, encontrando que al tener hojas más largas se puede tener una mayor intercepcion de luz, pero al parecer sólo ocurre en la palmas de mayor altura.

La tasa de emisión foliar no correlacionó significativamente con la producción, pero si negativamente con el índice de racimo(-0,426) lo que indica que al tener menos hojas la cantidad de racimos puede ser mayor, posiblemente debido a una mayor eficiencia en la traslocación de los fotoasimilados.

Existe una correlación negativa entre el área específica y la producción, lo que indica que un 38% de la población estudiada al ser menor su área específica mayor es su producción.

La materia seca vegetativa total correlacionó positivamente con la producción con un 24%, encontrando en este porcentaje que al tener mayor cantidad de estructuras vegetativas se repercute en una mayor producción.

La fotosíntesis correlacionó negativamente con la producción con el -43 % de la población. Pero teniendo en cuenta la época de verano en la que se realizaron las mediciones, y además que las selecciones de menores tasas de fotosíntesis son las de mayor productividad, y el comportamiento con respecto al uso eficiente del agua presentó altas correlaciones negativas(-0,52), explicando así la marcada relación entre la productividad y la eficiencia en el metabolismo.

Smith (1996) encontró correlaciones entre la fotosíntesis y el rendimiento, pero en este mismo ensayo encontró selecciones con correlaciones no significativas, concluyendo

Tabla 5. Correlación entre las variables de respuesta morfológicas y productivas en seis selecciones de palma de aceite (Pearson).

Variables*	Materia fresca reproductiva (kg. de peso de racimos)	Materia seca reproductiva (kg. de peso de racimos)	Índice de racimo (BI)
AF	0,3091 **	0,32 **	-0,268 n.s.
PSF	0,328**	0,204*	-0,11n.s.
Altura tronco	0,25*	0,223*	-0,129n.s.
Longitud de raquis	36,12**	37,58**	0,099n.s.
Número total de hojas/año	-0,16 n.s	-0,152 n.s	-0,426**
AE	-0,3811*	-0,399*	0,245**
MSV	0,245**	0,241**	-0,289**

n: 180 palmas
AF: área foliar hoja 17 (m^2); PSF: Peso seco foliar de la hoja 17 (kg);
AE: relación entre AF/PSF (kg/m^2); MSV: Materia seca vegetativa total .
* significativo > 0,05; **altamente significativo > 0,01; n.s= no significativo

Tabla 6. Correlación entre las variables de respuesta fisiológicas y de producción

Variables	Materia fresca reproductiva (kg de peso de racimos)	Materia seca reproductiva (kg de peso de racimos)	Índice de racimo (BI)
Fotosíntesis	-0,45**	-0,43*	-0,41*
Transpiración	0,0671 n.s	0,099n.s	0,2592*
Uso eficiente del agua	-0,59*	-0,5278*	-0,1224n.s

* significativo > 0.05; **altamente significativo > 0.01; n.s=no significativo
Pearson,SAS,institute 1996.

que el efecto en el cual la fotosíntesis esta influenciando al rendimiento, sólo se presenta en algunas progenies, en otras, el rendimiento esta influenciada por otros factores. La transpiración con las variables de producción no presentaron significancia.

CONCLUSIONES

- Las seis progenies de palma de aceite se comportaron de forma diferencial con respecto a las condiciones del medio ambiente en las que se encuentren, existiendo progenies que presentan una alta sensibilidad al déficit de presión de vapor del ambiente y otras que continúan su proceso fotosintético .

- La fotosíntesis está altamente relacionada con la densidad estomática. Las progenies con mayor densidad presentan una mayor área de intercambio gaseoso.

- Las progenies que presentaron alta sensibilidad al déficit de presión de vapor fueron las que presentaron un menor uso eficiente del agua, ademas son las que presentan una menor densidad estomática.

- Las dos progenies contratantes con respecto al rendimiento, son las que presentan los más altos valores de área foliar Total, concluyendo que el área foliar no es un factor determinante para que se presenten mejores valores tanto de fotosíntesis como de rendimiento, sino que existen otros factores internos de las hojas que pueden estar determinando la eficiencia fisiológica de las progenies.

En área específica las progenies presentan altas diferencias entre ellas, donde la progenie de mayor rendimiento (1905) está presentando una menor área especifica, y que de alguna forma que su alta productividad puede estar relacionada con una alta densidad del tejido.

En la mayoría de las progenies no existe diferencia significativa en la producción de materias seca vegetativa, con excepción de las selecciones 1905 y 1797, encontrando en la primera una alta acumulación de materia seca, así su alta eficiencia de traslocación de fotoasimilados, debido a sus bajas tasas fotosintéticas en época de sequía.

Una de las progenies que está presentando los mejores rendimientos, tiene como característica un alto número de racimos por palma (8,8) y un alto peso medio del racimo (19,58 kg), siendo ésta una de las características más deseables dentro de un programa de mejoramiento (Umaña 1996).

El bajo número de racimos/palma en las selecciones que presentaron menor rendimiento (1797 con 5,4 racimos/palma y 2080 con 4,7 racimos/palma) asociadas con un peso medio de racimo aceptable, indica su baja relación fuente/demanda (sink-source), en la cual los fotoasimilados no son desviados a producir más racimos y de mayor peso, y también está asociado con los bajos valores de índice de racimo que se presentan en estas selecciones (0,4 y 0,5), respectivamente. Contrastaste con lo que ocurre en la selección 1873, que no posee altas tasas de fotosíntesis y su área foliar no es la mejor, ésta presentando un alto índice de racimo, indicando la gran capacidad de este material de dirigir los fotoasimilados producidos a los racimos. Esta característica puede también ser tenida en cuenta en un programa de cruzamientos.

BIBLIOGRAFÍA

CORLEY, R.H.V.; HARDON, J.J.; TAN, G.Y. 1971. Analysis of growth of the oil palm *(Elaeisguineeensis* Jacq.): Estimation of growth parameters and application in breeding. Euphytica (Holanda) v.20, p.307-315.

CORLEY, R.H.V. 1976. Planting density. *In:* R.H.V. Corley; J.J. Hardon; B.J. Wood (Eds.). Oil Palm Research, Elvesier, Amsterdam. p.273-283.

CAYON, G. 1996a. Fotosíntesis y productividad. *En:* Ecofisiologia de la palma de aceite, *Elaeis guineensis* Jacq. p.20-27. (Mimeografiado).

CAYON, M.G. 1996b. Efectos fisiológicos sobre el estrés hídrico sobre varias especies vegetales. Universidad Nacional de Colombia, Palmira.

DUFRENE, E.; OCHS, R.; SAUGIER, B. 1990. Photosynthése et productivité du palmier á huile en liaison avec les facteurs climatiques. Oléagineux (Francia) v.45, n°.8, p.345-355.

DUFRENE, E.; SAUGIER, B. 1993. Gas exchange of oil palm in relation to light, vapor pressure deficit, temperature and leaf age. Oleágineux (Francia) v.48, n°8-9, p.347-356.

EL- SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H.; HERNÁNDEZ, A.D.P.; CADAVID, LF. 1990. Relationships between biomass , root-yield and single leaf photosynthesis in field-grown cassava. Field Crops Research, v.25, p. 183-201.

ERLER, W.L. 1983. The transpiration ratios of *Agave americana* and *Zea mays* as affected by soil water potential. Journal of Arid Environments, v.6 no.2, p. 107-113.

FORD, D.M. 1988. Photosynthesis and other traits in relation to chloroplast number during soybean leaf senescence. Plant Physiology, v.86, p. 1098-111.

HARDON, J.J.; WILLIAMS, C.N.; WATSON, I. 1969. Leaf area and yield in the oil palm in Malaysia. Experimental Agriculture (Reino Unido) v.5, p.25-32.

HENSON, I. 1995. Photosynthesis, dry matter production and yield of oil palm under light-limiting conditions. *In:* PORIM International Palm Oil Congress, "Update and Vision" (Agriculture). Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. p.525-541.

HENSON, I.; RUIZ, R. 1998. Photosynthesis and stomatal conductance of oil palm in Colombia. Some initial observations. 10 p. (mimeografiado).

LAMADE, E.; SETIYO, E. 1996. Variation in maximum photosynthesis of oil palm in Indonesia: Comparison of three morphologically contrasting clones. Plantations recherche dévelopment (Francia) v.3 no. 6, p.429-438.

LAMADE, E. 1996. Palmier a huile: mesures de la photosynthése et de la respiration. Plantations recherche dévelopement (Francia) v.3 no.1, p.23-29.

LAMADE, E.; BONNOT, F.; POELOENGAN, Z. 1996. Modeling photosynthesis and stomatal response of oil palm clones to environmental conditions in north Sumatra (Indonesia). Implicaron for plant breeding. *In:* PORIM International Palm Oil Congress, "Competitiveness for the 21st Century" (Agriculture). Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. p.87-96.

PORRAS, C.A. 1994. Comportamiento fisiológico de dos líneas de soya, *(Glycine max* L). en varios arreglos de siembra. Universidad Nacional de Colombia, Palmira.

SANTACRUZ, D.; COCK , J. H. 1982. Estudios fisiológicos de la hoja de la yuca, *Manihot escalenta* Crantz, bajo condiciones de sequía. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira y CIAT

SETIYO, I.E.; SUBRONTO, M.; LAMADE, E. 1996. Photosinyetyc rate of the three different DxP clones: The sensitivity to vapour pressure deficit in North Sumatra. *In:* PORIM International Palm Oil Congress, "Competitiveness for the 21st Century" (Agriculture). Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. p.421-426.

SMITH, B.G. 1989. The effect of soil water and atmospheric vapor pressure deficit on stomatal behaviour and photosynthesis in the oil palm. Journal of Experimental Botany v.40 no.215, p.647-651.

SMITH, B.G. 1993a. Oil palm breeding: the potential for using physiological selection criteria. *In:* PORIM International Palm Oil Congress, "Progress, Prospects and Challenges Foward the 21st Century" (Agriculture). Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. p.57-62.

SMITH, B.G. 1993b. Correlations between vegetative and yield characteristics and photosynthetic rate and stomatal conductance in the oil palm *(Elaeis guineensis* Jacq.) Elaeis (Malasia) v.5 no.1, p.12-26.

STERLING, F. 1993.Modelo de selección y mejoramiento de PIPA / ASD: Objetivos y necesidades del palmicultor del futuro. Palmas (Colombia) v.14, no. especial, p.26-39.

UMAÑA, C.H. 1996. Morfología, crecimiento, floración y rendimiento de la palma aceitera. *En:* XXV Curso Internacional de Palma Aceitera, ASD, Costa Rica.