

ECOFISIOLOGÍA DE LA PALMA DE ACEITE

OIL PALM ECOPHYSIOLOGY

AUTORES



Hernán Mauricio Romero,

Profesor asistente, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Asesor Programa de Fisiología, Cenipalma. hmromeroa@unal.edu.co

Iván M. Ayala,

Investigador auxiliar, Cenipalma, Colombia. ivan.ayala@cenipalma.org

Rodrigo Ruiz Romero

Investigador auxiliar, Cenipalma, Colombia. romeroruizrodrigo@hotmail.com

Palabras CLAVE

Déficit de presión de vapor de agua, uso eficiente de agua, fotosíntesis, transpiración, estrés abiótico.

Water vapor-pressure deficit, water use efficiency, photosynthesis, transpiration, abiotic stress.

RESUMEN

La ecofisiología vegetal es el estudio de las respuestas de las plantas a las condiciones ambientales y el análisis de los mecanismos fisiológicos dependientes del medio ambiente, a cada nivel de organización. La ecofisiología vegetal estudia los procesos fisiológicos que controlan el crecimiento, la reproducción, la supervivencia, la abundancia y la distribución geográfica de las plantas, y cómo estos procesos son afectados por la interacción de las plantas con su ambiente físico, químico y biótico. Los estudios ecofisiológicos abordan el efecto del ambiente en diferentes procesos de las plantas como la fotosíntesis, relaciones hídricas y respiración, entre otros. De la misma manera, la respuesta de las plantas a condiciones edafo-climáticas extremas, como temperaturas altas, déficit hídrico, radiación alta, exceso de metales en el suelo (manganeso, aluminio, etc.) y deficiencias de nutrientes. También analizan las respuestas de las plantas a estrés biótico inducido por plagas y enfermedades. Esta revisión resume el efecto del medio ambiente en algunos de los procesos fisiológicos en palma de aceite y su relación con la productividad. La mayoría de los resultados son inéditos, de investigaciones realizadas en el último año por Cenipalma, especialmente en Colombia, en palmas de 30 meses de materiales importados de Malasia por Fedepalma (Golden Hope, Guthrie y AAR), y sembrados de manera experimental por Cenipalma en pruebas regionales en las cuatro zonas palmeras colombianas: Norte, Occidental, Oriental y Central (Campo Experimental Palmar de la Vizcaína).

SUMMARY

Plant ecophysiology is the study of plant responses to the environment and the analysis of physiological mechanisms dependent of the environment, at every level of organization. Plant ecophysiology studies physiological processes controlling growth, reproduction, survival, abundance and geographic distribution of plants; and the way such processes are affected by the interaction of the plants with their physical, chemical and biotic environment. Photosynthesis, transpiration, water relations and respiration are some of the processes studied by ecophysiology. In the same way, the response of plants to extreme soil and environment conditions, such as high temperature, water deficit, high solar radiation, metal excess in the soil (such as magnesium, alumi-



num, etc.) and nutrient deficiencies. The response of plants to biotic stress induced by pests and diseases is also studied. This review summarizes the effect of the environment on some physiological processes in oil palm and their relationship with productivity. Most are unpublished results based on ongoing research performed by Cenipalma in Colombia, especially last year observations of 30 month-old palms of Malaysian materials imported by Fedepalma (Golden Hope, Guthrie and AAR), planted under experimental conditions by Cenipalma in regional trials in the Colombian oil palm regions: North, West, East and Central (Experimental Center "Palmar de La Vizcaína").



INTRODUCCIÓN

La ecofisiología ha sido definida como la ciencia de la vida vegetal bajo la influencia de factores bióticos y abióticos (Larcher, 2003). Es el estudio de las respuestas de los organismos a las condiciones ambientales y el análisis de los mecanismos fisiológicos dependientes del medio ambiente, a cada nivel de organización (Reigosa y Pedrol, 2003) y la interacción de estos organismos (material genético) y el ambiente, así como los procesos vitales de aclimatación y adaptación subyacentes (Prasad, 1997). Además estudia los procesos fisiológicos que controlan el crecimiento, la reproducción, la supervivencia, la abundancia y la distribución geográfica de las plantas, y cómo estos procesos son afectados por la interacción de las plantas con su ambiente físico, químico y biótico. Las preguntas abordadas por la ecofisiología vienen de niveles superiores de integración, como la agronomía o la ecología, y requieren del entendimiento de mecanismos básicos de integración (fisiología, bioquímica, biofísica, biología molecular).

En el campo agrícola, la ecofisiología ha adquirido gran importancia, tomando en cuenta que la producción de este sector en países industrializados está limitada al 25% de su potencial, debido a sequías, suelos infértiles y otros estreses ambientales. De manera que el objetivo principal de la investigación agrícola es la obtención de variedades menos sensibles al estrés ambiental, y es justamente de estudiar los meca-

nismos fisiológicos de respuesta o de resistencia al estrés, de lo cual se ocupa la ecofisiología (Reigosa y Pedrol, 2003).

Los procesos fisiológicos estudiados por la ecofisiología vegetal incluyen relaciones hídricas, nutrición mineral, transporte de solutos, fotosíntesis, respiración y otros, que son analizados en la comunidad, en la planta y a nivel celular, bioquímico y molecular. Dentro de estos procesos, la fotosíntesis y las relaciones hídricas han sido objeto de muchas investigaciones en el campo agrícola. La primera por estar ligada a la productividad de los cultivos y la segunda por la disponibilidad cada vez menor del recurso hídrico, que limita no solo la superficie cultivable, sino el rendimiento y supervivencia de las plantas. Así, el uso eficiente de agua (UEA) que relaciona la fijación de gas carbónico con el consumo de agua de la planta, se ha convertido en un índice muy importante en el manejo de cultivos y en programas de mejoramiento para la selección de variedades que produzcan más, con menor gasto de agua (Griffiths, 1993).

El cultivo de la palma de aceite en Colombia, representado en cuatro zonas palmeras de condiciones climáticas características (Tabla 1), ha crecido con un dinamismo acelerado en los últimos años, con tasas cercanas al 14% anual, ampliando la frontera agrícola y colonizando regiones cada vez menos aptas para la

Tabla 1. Características climáticas de las diferentes zonas palmeras de Colombia

	Zona Occidental	Zona Norte	Zona Central	Zona Oriental
Temperatura promedio (°C)	28	27	26	26
Precipitación (mm)	2.000-3.000	1.000-2.000	2.000-4.000	2.000- 4.000
Brillo solar (horas)	2.158	1.540	1.607	2.479
Humedad relativa (%)	81,3	81,6	77,2	79,8

producción agrícola, en donde la disponibilidad de recursos medioambientales óptimos (suelo-clima) es limitada. Por ejemplo la disponibilidad de agua, que es vital para los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, es deficitaria en tres de las cuatro zonas palmeras de Colombia. Existen períodos prolongados de déficit hídrico, que en el caso de las zonas Central y Oriental pueden llegar a superar los cuatro meses y, en la Zona Norte, los ocho meses.

Las limitaciones ambientales como el déficit hídrico tienen un efecto marcado en la productividad, directamente relacionada con la capacidad fotosintética de las plantas y su plasticidad ante las condiciones ambientales determinadas de cada zona palmera. Así, en respuesta al déficit hídrico, la tasa fotosintética y la transpiración se reducen fuertemente (Smith, 1989), se incrementa el aborto de estructuras reproductivas y disminuye la producción en general (Corley y Tinker, 2003). Los estudios para identificar materiales que son capaces de mantener las tasas fotosintéticas con bajos consumos de agua, aun bajo condiciones de déficit hídrico (o bajo cualquier otra condición extrema), son importantes no solo para programas de mejoramiento, sino también para poder establecer la mejor relación genotipo x ambiente, que permita, no descartar materiales, sino ubicarlos mejor, de acuerdo con las condiciones edafo-climáticas de cada zona y su respuesta ecofisiológica. En esta revisión se ha querido mostrar el efecto del ambiente en la fisiología de la palma de aceite, con especial referencia a la fotosíntesis y la productividad.

EFFECTO DEL AMBIENTE EN LA PRODUCTIVIDAD

En una especie cultivada como la palma de aceite, el rendimiento agronómico (C) (rendimiento de la parte cultivada) -que para el caso de la oleaginosa está representado por los frutos-, lo determinan:

- la radiación solar fotosintéticamente activa (PAR), que incide en el dosel (R0);
- la fracción de PAR que es interceptada por el dosel (RI);
- la eficiencia fotosintética del cultivo (E), normalmente expresada como unidad de materia

seca producida por unidad de PAR, también conocida como uso eficiente de la radiación solar (UERS);

- el índice de cosecha (IC), expresado como la relación entre el rendimiento agronómico y el rendimiento biológico de un cultivo;
- y la interacción entre la temperatura media del aire (T), durante el período de crecimiento y la precipitación (P), o en su defecto cantidad de agua disponible para aplicar en forma de riego. La interrelación de los diferentes factores puede verse en la siguiente ecuación:

$$C = (R0 \times RI \times E \times IC) \times (T \times P)$$

De los factores representados en la ecuación, algunos son fijos y otros son variables. Por ejemplo, R0 depende de la ubicación de la plantación y no puede ser modificada, al igual que T y P. Sin embargo, RI depende de la arquitectura del dosel, de la densidad poblacional, del número de hojas, del tipo de material (compacto o no), es decir que RI puede ser modificada mediante actividades agronómicas o procesos de selección de materiales. Igual ocurre con E y con IC, que pueden ser manejados con la selección de materiales.

De la ecuación, se puede deducir que el rendimiento de la palma está determinado por factores que se deben contemplar antes de la siembra, durante el proceso de selección del sitio, que son inmodificables y corresponden a factores climáticos; y por factores que se pueden controlar mediante la selección del material y el manejo de densidades poblacionales y prácticas agronómicas de fertilización, podas, y otras.

De igual manera permite inferir que los máximos potenciales de rendimiento se pueden lograr en la medida en que se obtenga la mejor interacción genotipo x ambiente con un manejo agronómico y unas prácticas agrícolas optimizadas para cada material en cada ambiente. El efecto que el ambiente ejerce en la producción de la palma de aceite se puede ver en un estudio hecho por Henson (1998), en el cual el mismo material, sembrado bajo dos ambientes contrastantes de la región occidental de Malasia, tiene comportamientos diferentes en la productividad. Así, el material sembrado en una zona costera alcanza su pico máximo de producción al cuarto año de cosecha,



mientras que la producción del material sembrado en una zona al interior, tiene producciones menores hasta que finalmente alcanza su pico de producción en el octavo año.

El rendimiento agronómico (C) está determinado principalmente por la producción de fotoasimilados a través de la fotosíntesis, los cuales son responsables del llenado de los frutos y de la producción de materia seca necesaria para el crecimiento vegetativo y el mantenimiento de la planta. Cualquier factor, ya sea genético, edafoclimático o de manejo agrícola, influye a través de la fotosíntesis no solo en la producción de racimos de fruta fresca, sino también en el crecimiento de la planta y en su mantenimiento. Sin embargo, la distribución de los productos de la fotosíntesis (partición de fotoasimilados) es diferencial en los tres compartimientos nombrados. Del total de fotoasimilados, 50% se utiliza en el mantenimiento de la planta, 25% en la producción de energía para el crecimiento de las estructuras vegetativas y 25% en el incremento en biomasa de hojas (10%), raíces (3%), estípites (2%) y racimos (10%) (Breure, 1988; van Kraalingen y Breure, 1989).

Se ha postulado que con prácticas agronómicas, en algunos cultivos como el maíz, el arroz y el trigo se ha llegado al límite superior del potencial de rendimiento, por lo cual los programas de mejoramiento se han volcado hacia el desarrollo de variedades con cambios morfológicos y de arquitectura (por ejemplo, variedades enanas con menor costo de mantenimiento en fotoasimilados); o con mayor capacidad de asimilación de carbono (con lo cual se incrementa la producción total de asimilados), para incrementar el máximo potencial de rendimiento y así lograr mayor productividad (Evans, 1997).

Sin embargo, en la palma de aceite aún se está lejos de alcanzar el máximo potencial de rendimiento, en parte por deficiencias en las prácticas agronómicas y también por falta de estudios que permitan ubicar los diferentes materiales en los ambientes donde las condiciones edafo-climáticas les permitan expresar su potencial productivo. Por ejemplo, se podría explotar de manera óptima la capacidad fotosintética inherente de cada material, la cual se puede expresar mejor en un ambiente que otro. El resultado es que,

en la medida en que se establezcan las mejores relaciones genotipo x ambiente, se pueden alcanzar mejores rendimientos. Por ejemplo, materiales de origen malasio, sembrados en las cuatro zonas palmeras colombianas, sin riego suplementado, presentan un comportamiento fotosintético diferente, dado por las condiciones particulares de cada zona (Figura 1). En este experimento, las mayores tasas fotosintéticas se midieron en las zonas Central y Occidental, que llegaron a ser en algunos casos hasta el 50% más altas que las registradas en la Zona Norte, en donde se obtuvieron los valores más bajos de fotosíntesis. En cuanto a la comparación entre materiales, en las zonas Norte, Oriental y Occidental las mayores tasas fotosintéticas se presentaron en el material Guthrie y, en la Zona Central, en el Golden Hope. De otro lado, los materiales con las menores tasas fotosintéticas fueron diferentes en cada zona. Así, en la Norte y en la Oriental las más bajas las mostró el material AAR; en la Occidental el Golden Hope, y en la Central el Guthrie.

La fotosíntesis de una planta necesita agua, radiación solar, CO_2 , sales minerales, clorofila y una buena superficie de interceptación de la radiación (área foliar). Cualquier condición limitante de alguno de estos

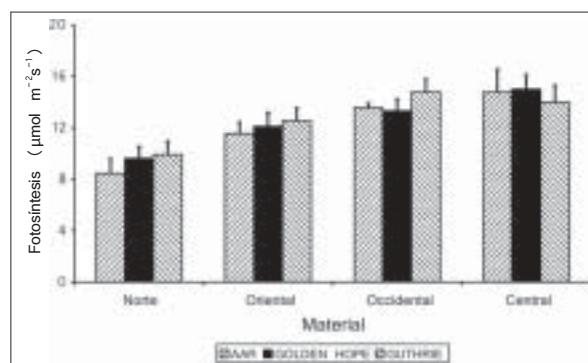


Figura 1. Tasa fotosintética de palmas de 24 a 30 meses de diferentes materiales malasios sembrados en las cuatro zonas palmeras de Colombia. La fotosíntesis fue medida utilizando un IRGA de tipo abierto LCD-4 (ADC Inc., Inglaterra), bajo condiciones de saturación de luz ($> 1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Las barras representan la desviación estándar del promedio de determinaciones hechas en la hoja nueve de al menos cuatro plantas diferentes por material en cada zona.

componentes influye negativamente sobre este proceso y, por tanto, en la productividad. En la palma de aceite diferentes investigaciones han mostrado la relación que existe entre la fotosíntesis y la producción. Es tal, que a mayor fotosíntesis, mayor productividad (Henson, 1990). Así, condiciones que limiten la fotosíntesis, resultan en menor producción de la palma, en disminución del crecimiento y una baja capacidad de la planta de reaccionar ante plagas y enfermedades. A continuación se describe el efecto de algunos de esos factores limitantes.

DÉFICIT HÍDRICO

El agua puede ser un factor limitante para la fotosíntesis cuando se presenta en déficit o en exceso. Cuando hay déficit del recurso, la planta responde cerrando estomas para disminuir las pérdidas por transpiración, reduciendo simultáneamente el suministro de CO_2 a la planta. El resultado es una caída en la fotosíntesis. De hecho, la comparación de un mismo material de palma de aceite sembrado en la Zona Oriental de Colombia, tanto en condiciones de déficit hídrico (sin riego) como en condiciones adecuadas de suministro de agua (con riego) (Smith, 1989) (Figura 2) arrojó que, en las horas de la mañana, cuando la temperatura es baja y la transpiración mínima, las plantas tienen los estomas abiertos (conductancia estomática alta). Al acercarse

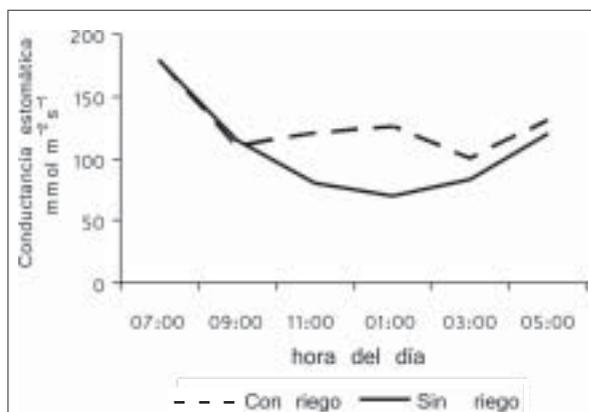


Figura 2. Conductancia estomática de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) con riego (línea punteada) o sin riego (línea sólida) suplementado, sembrada en la Zona Oriental Colombiana (Unipalma de los llanos). (Adaptado de Smith, 1989).

el mediodía, con temperaturas más elevadas y evapotranspiración muy alta, las plantas tienden a cerrar estomas (conductancia estomática disminuye), ya que en este punto la velocidad de absorción de agua por las raíces es menor que la pérdida de agua por transpiración. Sin embargo, en las plantas que tienen riego, el cierre de estomas es menos marcado. De esta manera, las plantas con riego pueden hacer fotosíntesis por más horas, lo cual es expresado como una mayor productividad.

TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA

La fotosíntesis, al igual que muchos otros procesos bioquímicos y fisiológicos, es influenciada en buena medida por la temperatura. Existe una temperatura óptima a la cual se alcanza el valor máximo de fotosíntesis. Por encima o por debajo de ella, la tasa fotosintética disminuye, y es fuertemente inhibida a temperaturas muy altas o muy bajas (Larcher, 2003).

Por ser un cultivo tropical, la palma de aceite requiere una alta temperatura para sus procesos fisiológicos y desarrollo. La óptima se encuentra entre 25 y 29°C. Si se ubica por encima de los 29°C, la fotosíntesis disminuye, de manera inversamente proporcional (Figura 3). Corley y Hardon (1973) reportan que

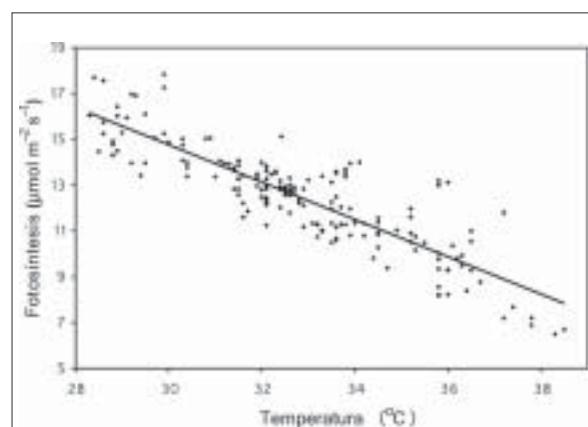


Figura 3. Efecto de la temperatura del aire en la fotosíntesis de palma de aceite de 24 a 30 meses sembrada en la Zona Norte de Colombia. Para detalles de la determinación de la fotosíntesis ver la leyenda de la Figura 1.

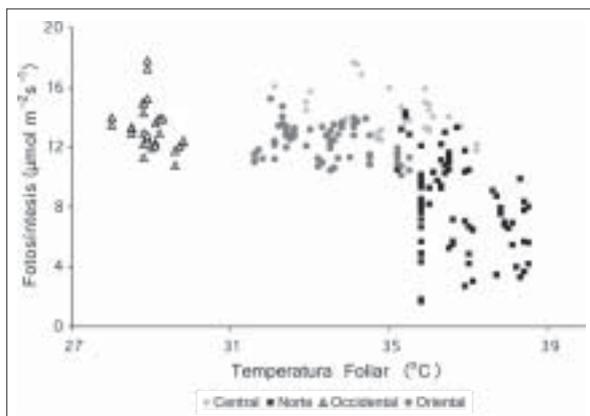


Figura 4. Efecto de la temperatura del aire sobre la fotosíntesis de palmas de 24 a 30 meses bajo las condiciones de las cuatro zonas palmeras de Colombia. Para detalles de las determinaciones ver la leyenda de la Figura 1.

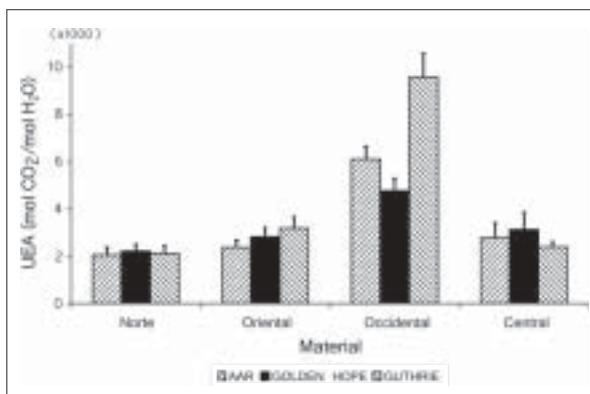


Figura 5. Uso eficiente de agua (fotosíntesis / transpiración) de plantas de 24 a 30 meses de materiales malasio sembrados en cada zona palmera de Colombia. La transpiración y la fotosíntesis fueron medidas como se explica en la leyenda de la Figura 1.

palmas de vivero sometidas a episodios fuertes de sequía disminuyen su eficiencia fotoquímica después de los 35°C y llegando al cierre estomático entre los 39 y los 42°C. Sin embargo, el efecto de la temperatura es afectado por otras condiciones ambientales y edáficas, que ocasionan respuestas variables de la palma de aceite bajo diferentes ambientes.

Por ejemplo, materiales malasio sembrados en Colombia no responden de forma semejante a la

temperatura ambiental (Figura 4). Así, en las zonas Occidental y Central se midieron las tasas fotosintéticas más altas, pero mientras la temperatura en la primera estuvo entre 28 y 30°C, en la Central osciló entre 32 y 36°C. La capacidad de las palmas aceiteras sembradas en esta última zona para mostrar tasas fotosintéticas altas se debió a que en este estudio contaban con un suministro hídrico adecuado, que les permitía mantener los estomas abiertos por más tiempo aun bajo temperaturas superiores a las óptimas, que normalmente ocasionarían su cierre. Esta condición les proporcionó a las plantas tasas transpiratorias elevadas, con lo cual su eficiencia en el uso de agua (UEA), entendida como los moles de CO₂ fijados por mol de agua consumido, fue mucho menor que en las plantas de la Zona Occidental (Figura 5). Es de esperarse que cuando el suministro hídrico sea limitante, las plantas de la Zona Central respondan cerrando los estomas, con menores tasas fotosintéticas, ya que el no hacerlo implicaría un costo muy elevado en términos de pérdidas de agua por transpiración, que incluso podría causar su muerte.

Cuando no hay un buen suministro hídrico, las plantas no pueden mantener estomas abiertos, ya que perderían demasiada agua por transpiración. Así, sin riego suplementado, las tasas fotosintéticas de las palmas en la Zona Norte son las más bajas de las cuatro zonas palmeras (Figura 4). Sin embargo, la EUA de las palmas de esta zona es similar a la registrada en la Central y en la Oriental (Figura 5). Es por ello por lo que, en general, con suministro de riego, la Zona Norte es de las más productivas de Colombia.

La temperatura ambiental tiene un efecto marcado sobre otras dos variables muy importantes: la humedad relativa (HR) y el déficit de presión de vapor de agua (DPVA). Ya se ha explicado que la fotosíntesis se realiza a expensas de pérdida de agua por transpiración y que, en la medida en que esta pérdida sea mayor que la entrada de agua por las raíces, la respuesta de las plantas es cerrar estomas. Dado que la transpiración no es más que la difusión de vapor de agua desde la cámara subestomática hacia el aire, es afectada fuertemente por la presión de vapor de agua en ambos compartimientos. Así, el movimiento del vapor de agua será desde donde la

presión de vapor sea mayor hacia donde sea menor (Nobel, 1999). Esta presión de vapor de agua está determinada por la HR y por la temperatura. A mayor HR o temperatura más alta, mayor presión de vapor de agua (en otras palabras, el aire está más saturado de agua). De esta manera, si se asume que la HR de la cámara subestomática es 100% y como normalmente la temperatura de la hoja es mayor que la temperatura del aire, se establece un gradiente de presión de vapor de agua entre la cámara subestomática y el aire, que se conoce como DPVA y es el responsable del flujo transpiratorio cuando los estomas están abiertos. Así, entre mayor sea el DPVA, mayores serán las pérdidas de agua por transpiración; es decir que el precio que paga la planta por hacer fotosíntesis será más alto. Valores superiores de DPVA de 2 kPa limitan las tasas fotosintéticas en palma de aceite (Smith, 1989) con comportamiento inverso entre las dos variables (Dufrene y Saugier, 1993; Setio *et al.*, 1996).

Se puede observar que entre más alto es el DPVA, la fotosíntesis es más baja (Figura 6). Sin embargo, no todos los genotipos de palma de aceite responden igual al DPVA. La Tabla 2 muestra la fotosíntesis y la transpiración de seis progenies de palma de aceite bajo condiciones de DPVA de 0,5 kPa a 2,5 kPa. Se observan diferencias significativas tanto en la fotosíntesis como en la transpiración. Mientras en la selección 1797 la fotosíntesis se mantiene relativamente alta ($11 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), en otras líneas, como en la 1905 y 2078, aquella no alcanza los $6 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Ayala y Gómez, 2000).

RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA (PAR)

La ecuación de rendimiento agronómico muestra que la PAR es un factor fundamental en la productividad de las plantas. La PAR es la radiación comprendida entre los 400 nm y los 700 nm de longitud de onda, que puede ser absorbida por los pigmentos de las hojas, y a partir de la cual las plantas obtienen la energía necesaria para los procesos bioquímicos que implican la reducción del CO_2 para producir carbohidratos (fotoasimilados). La Figura 7 muestra la relación entre la PAR y la fotosíntesis en palma de aceite sembrada en la Zona Norte, bajo DPVA menor

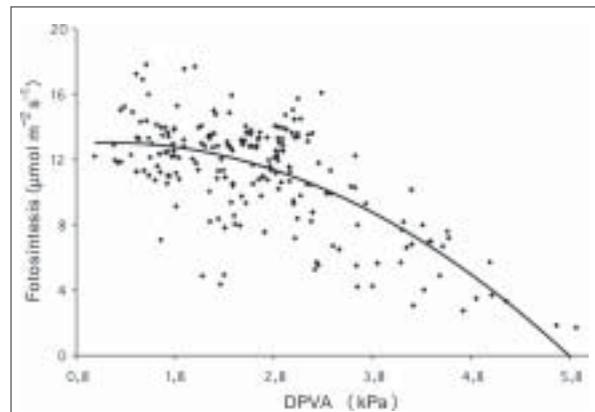


Figura 6. Relación entre el déficit de presión de vapor de agua (DPVA) y la fotosíntesis de palma de aceite de 24 a 30 meses de edad. Las determinaciones fueron hechas como se detalla en la leyenda de la Figura 1.

Tabla 2. Fotosíntesis y transpiración en seis progenies de palma de aceite bajo condiciones de déficit de presión de vapor de 0,5 a 2,5 kPa. Las determinaciones fueron realizadas utilizando un IRGA de tipo abierto LCD-4 (ADC Inc., Inglaterra), bajo condiciones de saturación de luz ($> 1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Los valores con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$). C.V. corresponde al coeficiente de variación. (Adaptado de Ayala y Gómez (2000)).

Selección	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Transpiración ($\text{mol HO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
1905	5,92 d	3,36 d
1873	7,26 c	2,69 c
2078	5,98 d	2,30 d
1922	8,63 b	3,96 a
1797	11,2 a	4,21 a
2080	7,21 c	2,12 d
	C.V: 31,05%	C.V: 28,9%

de 2,0 kPa. Bajo estas condiciones, entre los 500 y $2100 \mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR, la relación es aparentemente lineal, de tal manera que a mayor radiación, mayor fotosíntesis (Ruiz-Romero y Henson, 2002). Sin embargo, la palma de aceite, al ser una planta de metabolismo C_3 , presenta los llamados puntos de compensación y de saturación de luz (Figura 8), de tal manera que cuando la radiación es menor de $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, la fijación de CO_2 por fotosíntesis es menor que la liberación de CO_2 por

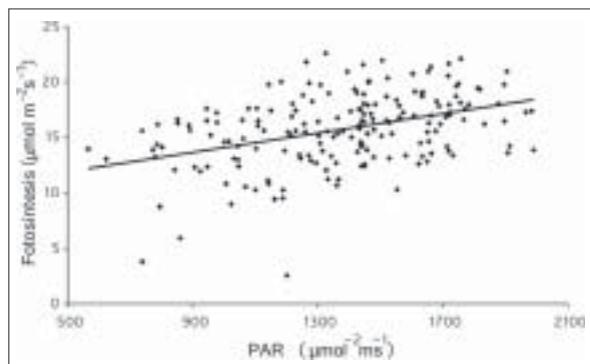


Figura 7. Relación entre la fotosíntesis y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) de palma de aceite sembrada bajo las condiciones de la Zona Norte Colombiana. Para la figura se graficaron los valores de fotosíntesis de palmas bajo DVPA < 20kPa. Las determinaciones fueron realizadas como se describe en la leyenda de la Figura 6. Para la construcción de la figura se utilizaron datos originales de Ruiz-Romero y Henson (2002).

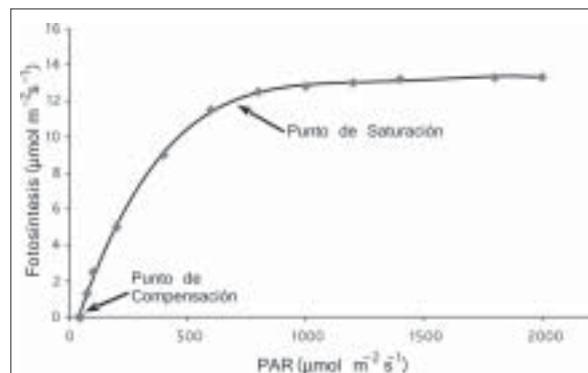


Figura 8. Curva de luz representativa (fotosíntesis en función de PAR) de palma de aceite bajo las condiciones de la Zona Norte de Colombia. Las determinaciones fueron hechas con un IRGA de tipo abierto LCA-4 (ADC Inc. Inglaterra), utilizando una unidad de luz portátil (PLU2, ADC Inc. Inglaterra) para generar los diferentes niveles de PAR.

respiración, con lo cual se obtienen tasas fotosintéticas negativas. Hacia los $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fijación y respiración son iguales (punto de compensación de luz, fotosíntesis neta = 0); solo después de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y hasta aproximadamente de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se tienen aumentos lineales de la fotosíntesis en la medida en que aumenta la PAR. Después de este valor de PAR, denominado “punto de saturación de luz”, no importa qué tanto se incremente la radiación, la tasa fotosintética no aumenta más.

El punto de compensación marca el límite inferior y el punto de saturación marca el límite superior de la fotosíntesis efectiva de las plantas, es decir, el rango en el cual la planta está acumulando fotoasimilados. Estos dos puntos son específicos para cada material y para las condiciones específicas de cada zona palmera, de tal manera que en este aspecto también es necesario establecer las mejores relaciones genotipo x ambiente, para poder ubicar cada mate-

rial en la zona en la cual pueda estar el mayor número de horas en las condiciones de radiación que posibilitan la acumulación de fotoasimilados. Sin embargo, no se debe olvidar que la capacidad de absorción de la radiación solar está determinada por la superficie de asimilación (área foliar), por la densidad poblacional, arquitectura, número de hojas, etc. Factores que pueden ser controlados agrónomicamente o por procesos de selección y que son también determinantes en la capacidad fotosintética de la planta y del cultivo en general.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación hace parte del convenio de cooperación entre Cenipalma y la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia y ha sido financiada por el Fondo de Fomento Palmero. Los autores expresan sus agradecimientos a las Plantaciones Suramérica, Corpoica El Mira y Las Lomas por el acceso a las pruebas regionales.



BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, I; Gómez, PL. 2000. Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con rendimiento en plantaciones de palma de aceite, *Elaeis guineensis* Jacq. *Palmas* 21: 10-21
- Breure, CJ. 1988. The effect of palm age and planting density on the partitioning of assimilates in oil palm (*Elaeis guineensis*). *Experimental Agriculture* 24: 53-66
- Corley, RHV; Hardon, JJ. 1973. Some evidence of genetically controlled variation in photosynthetic rate of oil palm seedlings. *Euphytica* 22: 97-104
- Corley, RHV; Tinker, PB. 2003. The Oil Palm, Ed Fourth Edition. Blackwell Publishing Inc., Oxford
- Dufrene, E; Saugier, B. 1993. Gas exchange of oil palm in relation to light, vapor pressure deficit, temperature and leaf age. *Oleagineux* 48: 347-356
- Evans, LT. 1997. Adapting and improving crops: the endless task. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 352: 901-906
- Griffiths, H. 1993. Carbon isotope discrimination. In Hall, DO; Scurlock, JMO; Bohlar, HR; Nordenkamp, RC; Leegood, RC; Long, SP, eds, Photosynthesis and Production in a Changing Environment: a Field and Laboratory Manual. Chapman & Hall, London, pp 181-192
- Henson, IE. 1990. Photosynthesis and source-sink relationships in oil palm (*Elaeis guineensis*). *Trans. Malay. Soc. Pl. Physiol.* 2: 51-57
- Henson, IE. 1998. Notes on oil palm productivity. I. Productivity at two contrasting sites. *Journal of Oil Palm Research* 10: 57-67
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups, Ed 4. Springer-Verlag, Berlin
- Nobel, PS. 1999. Physicochemical and Environmental Plant Physiology, Ed Second. Academic Press, New York
- Prasad, MNV. 1997. Plant Ecophysiology. John Wiley & Sons Inc., New York
- Reigosa, MJ; Pedrol, N. 2003. La ecofisiología vegetal. In Reigosa, MJ; Pedrol, N; Sánchez-Moreiras, A, eds, La Ecofisiología Vegetal: Una Ciencia de Síntesis. Thomson Editores, Madrid, pp 1-57
- Ruiz-Romero, R; Henson, IE. 2002. Photosynthesis and stomatal conductance of oil palm in Colombia: some initial observations. *The Planter* 78: 301-308
- Setio, IE; Subronto, A; Lamade, E (1996) Photosynthetic rate of the three different D*T clones: the sensitivity to vapour pressure deficit in north Sumatra. In PORIM Oil Palm Congress, Kuala Lumpur, pp 528-546
- Smith, BG. 1989. The effect of soil water and atmospheric vapor pressure deficit on stomatal behaviour and photosynthesis in the oil palm. *Journal of Experimental Botany* 40: 647-651
- van Kraalingen, DWG; Breure, CJ. 1989. Simulation of oil palm growth and yield. *Agricultural and Forest Meteorology* 46: 229-244