

Notas del Director

El agua es uno de los bienes más preciados para la humanidad. Se ha previsto que en un futuro próximo podrían presentarse guerras entre países por el control de las fuentes hídricas. En las plantas el agua es fundamental para que puedan cumplir con su ciclo vital. Sin ella, sufren estrés hídrico y terminan muriendo. De esta manera, la investigación sobre mecanismos de tolerancia de las plantas al déficit hídrico resulta fundamental para el desarrollo de nuevas variedades que usen el agua de manera más eficiente, produciendo más con menos gasto del preciado líquido.

En Colombia, el déficit hídrico se presenta en tres de las cuatro zonas palmeras, siendo en algunos casos necesario el uso de sistemas de riego para lograr producciones que den viabilidad financiera a los desarrollos productivos. Sin embargo, el recurso hídrico es cada vez más escaso y por ello las investigaciones sobre el uso del agua en el cultivo de la palma de aceite son muy relevantes para el sector palmero colombiano.

De cara al futuro, se hace necesario el desarrollo de tecnologías más eficientes para optimizar los sistemas de riego y el uso del agua por las plantas, pero a la vez se hace evidente que la única solución a largo plazo es el desarrollo de materiales con mayor tolerancia a la sequía y con un mejor uso eficiente de agua (Cantidad de CO₂ fijado por unidad de agua consumida).

El primer paso en la obtención de materiales con mejor uso eficiente de agua, es la caracterización de los materiales comerciales en uso en Colombia. Existe la posibilidad de encontrar diferencias entre estos materiales con genotipos más tolerantes que otros. De ser así, se podría desarrollar un mapa de lugares óptimos para materiales con mayor tolerancia, para que sean sembrados en las zonas con mayor déficit hídrico, y los materiales menos tolerantes sean sembrados en aquellas zonas con un mejor suministro hídrico.

Este Ceniavances presenta los primeros resultados de dicha caracterización. Cenipalma, con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, ha iniciado un programa de investigación sobre la tolerancia de la palma de aceite al déficit hídrico. Inicialmente se van a caracterizar los materiales comerciales, pero se espera en un futuro cercano iniciar la caracterización de los diferentes materiales del Banco de Germoplasma de Cenipalma. De esta manera esperamos poder encontrar las fuentes genéticas de tolerancia a la sequía, que sirvan como insumo para el desarrollo de nuevos materiales adecuados para cada zona palmera. Adicionalmente, el conocimiento básico que se obtenga en esta investigación será fundamental para el desarrollo de estrategias novedosas para la obtención de materiales más tolerantes a la sequía.

José Ignacio Sanz Scovino
Director Ejecutivo de Cenipalma

Relaciones hídricas en ocho materiales de palma de aceite durante época de lluvias, en el Campo Experimental Palmar de la Vizcania*



El déficit hídrico afecta la fisiología de la palma, ocasionándole cambios en el crecimiento y desarrollo. Uno de los síntomas visuales es la acumulación de flechas, causada por la falta de expansión de las hojas; como estrategia para disminuir la superficie foliar, la planta puede perder agua por medio de la transpiración.

Introducción

El agua es el principal limitante ecológico de la explotación agrícola. Bajo condiciones de déficit hídrico, las disminuciones en el desempeño de los cultivos pueden ser gobernadas extensamente por un descenso en las tasas de fotosíntesis, ya sea por pérdidas en la funcionalidad del aparato fotosintético o por cierres estomáticos que limitan el flujo de CO₂. En ambientes tropicales, los efectos del déficit hídrico son agravados por las altas temperaturas y especialmente por la alta radiación. Por este motivo, el déficit hídrico causa múltiples estreses de manera simultánea (DaMatta, 2003).

Para conocer cómo el déficit hídrico afecta a una determinada especie, es necesario conocer el funcionamiento de la planta bajo condiciones no limitantes. Especialmente es necesario conocer las relaciones hídricas de la planta en términos del continuo suelo-planta-atmósfera a través del cual se presenta el flujo de agua en buena parte mediado por las diferencias de potencial hídrico entre los tres compartimentos nombrados (Prasad, 1997).

En efecto, como un primer acercamiento al conocimiento del estado hídrico de la planta es importante determinar el papel que juega el potencial hídrico. Así, para que se produzca la entrada de agua a la planta, es necesario que el potencial hídrico de la raíz sea menor que el potencial hídrico del suelo. Después, para que haya un flujo de agua hacia las hojas, éstas deberán tener un potencial hídrico menor al de la raíz y finalmente la salida del agua desde las plantas hacia la atmósfera se presenta por el movimiento neto del vapor de agua desde la cámara subestomática en las hojas hacia la atmósfera (Azcón *et al.*, 2000).

En una temporada de sequía se presentan dos fenómenos importantes. Por un lado, el potencial hídrico del suelo se hace muy bajo, dificultándose la absorción del agua por las raíces. Por otra parte, la humedad del aire se baja, lo que acompañado de altas temperaturas, lo cual hace que el potencial hídrico de la atmósfera sea muy bajo, de tal manera que la pérdida de agua desde las plantas hacia el aire sea mucho mayor que bajo condiciones de no sequía. Para poder sobrevivir a estas condiciones limitantes, las plantas deben desarrollar estrategias que, por un lado permitan la absorción de agua por las raíces, y por otro, dificulten la pérdida de agua por la cámara subestomática, para lo cual la estrategia es la disminución generalizada del potencial hídrico de la planta y la limitación de la apertura de estomas, para disminuir la transpiración.

La palma de aceite es fuertemente afectada por el déficit hídrico, que ocasiona cerramiento de los estomas a medio día (Dufrêne *et al.*, 1993),

*Cristhian Bayona, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia

Iván Mauricio Ayala, Programa de Fisiología, División de Agronomía, Cenipalma

Hernán Mauricio Romero, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Programa de Fisiología, División de Agronomía, Cenipalma. Autor para correspondencia hromero@cenipalma.org

incremento de la temperatura foliar (Hong and Corley, 1976), reducción de la tasa fotosintética y de transpiración, aborto de inflorescencias y retardo en la apertura foliar, (Smith, 1989), reducción en la relación de sexos en las inflorescencias e incremento en la proporción de inflorescencias masculinas (Corley, 1983), reducción en el contenido de aceite en el mesocarpio (Ochs and Daniel, 1976) y alteración en los procesos de maduración de racimos.

Al ser evidente el problema de déficit hídrico en la mayoría de las zonas palmeras de Colombia, se crea la necesidad de utilizar alternativas de manejo sostenible. Una de ellas es la evaluación y búsqueda de materiales genéticos tolerantes al déficit hídrico, para poder realizar una ubicación óptima de materiales genéticos que utilicen adecuadamente los recursos medioambientales y sean eficientes en producción de aceite.

En respuesta a las necesidades planteadas anteriormente, Cenipalma viene desarrollando un proyecto de investigación para determinar los requerimientos hídricos de materiales comerciales de palma de aceite que se siembran en Colombia. El objetivo es identificar materiales con tolerancia al estrés hídrico, que puedan expresar el máximo potencial fotosintético y productivo bajo condiciones de sequía propias de algunas zonas palmeras del país. Adicionalmente, se busca identificar genotipos tolerantes con potencialidad para ser usados dentro de los programas de mejoramiento genético de Cenipalma.

Este documento presenta los avances de este proyecto. Específicamente, el establecimiento de la línea de base en ocho materiales de palma de aceite en relación con la fluctuación de los potenciales hídricos que actúan sobre ellos.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolla en el Centro Experimental Palma de la Vizcaína, (Bucaramanga). El muestreo corresponde a la época húmeda o de lluvias. Los materiales fueron seleccionados y marcados en campo, las palmas se encuentran distribuidas en un lote de 8 ha, tienen una edad aproximada de 4 años y están arregladas en bloques de 16 palmas por material. Se seleccionaron palmas de la parte interior del bloque para evitar efecto borde, por lo tanto, se dispone de seis palmas interiores para el monitoreo. Los materiales evaluados se muestran en la Tabla 1

Tabla 1. Materiales de palma de aceite utilizados en el experimento.

Material genético	Casa productora	Zona representativa palmera
1 IRHO 1001	CIRAD, Francia	Central y Oriental
2 IRHO 1401	CIRAD, Francia	Central y Oriental
3 DAMI 1	Dami las Flores, Colombia	Norte, Central y Occidental
4 Dell x Nigeria	ASD, Costa Rica	Norte, Central, Oriental y Occidental
5 Híbrido OxG 1	Indupalma S.A., Colombia	Oriental y Occidental
6 Híbrido OxG 2	Indupalma S.A., Colombia	Oriental y Occidental
7 Unilever 1	Unifield (Unipalma), Reino Unido	Oriental
8 Corpoica	Corpoica, El Mira, Colombia	Occidental

Potencial hídrico de la hoja

Para medir el potencial hídrico de la hoja se utilizó la bomba de Schölander, equipo que aplica presión contraria a la que presenta la hoja en relación con la tensión del contenido hídrico en ella para lo cual requiere nitrógeno gaseoso y se tiene en cuenta el punto en el cual emerge líquido en la

superficie del corte realizado a un folíolo de la palma, que se observa fuera del tanque del equipo.

Para medir el potencial hídrico de la hoja se selecciona el folíolo para la determinación (tercio medio de la hoja 17), el cual es cortado desde la base de unión con el raquis de la hoja; posteriormente se realiza un corte de la lamina foliar circundante a la nervadura central del folíolo, de la dimensión necesaria para que la nervadura pueda atravesar la tapa de la bomba (2cm) (Figura 1 A). Luego se inserta en la tapa de la bomba y se coloca sobre el tanque de presión (Figura 1 B y C), se cierra y se aprieta para evitar fugas de gas (Figura 1 D). Posteriormente, se inyecta gas mediante un flujo lento con el fin de tener un resultado más preciso. Por último, se observa en la parte que queda expuesta de la nervadura central para determinar el momento en el que emerge la gota de líquido y se detiene el flujo de gas. Una vez se registra el valor obtenido (Figura 1 E y F), se desfogó el tanque de presión, se destapa y se retira el folíolo, el cual es envuelto en papel aluminio e introducido en nitrógeno líquido, con el fin de preservarlo y poder realizar la determinación de la respuesta bioquímica.



Figura 1. Uno de los síntomas visuales es la acumulación de flechas, causada por la falta de expansión de las hojas, como estrategia para disminuir la superficie foliar y así evitar perder agua por medio de la transpiración

Potencial hídrico del suelo

La determinación del potencial hídrico del suelo se realizó mediante sensores de humedad digitales y tensiómetros análogos. En campo se colocaron seis sensores y 2 dos tensiómetros, los cuales se distribuyeron en diferentes lugares del lote. Los sensores fueron enterrados en el suelo a dos profundidades (10 y 20cm), los cables de los sensores fueron conectados al lector cada vez que se registraba un dato. De igual manera, se procedió con los tensiómetros.

Potencial hídrico del aire

El potencial hídrico de la atmósfera fue calculado mediante la fórmula $\Psi = RT/V \ln HR/100$; o lo que es igual $\Psi = 0,4608 \cdot T \cdot \ln(HR/100)$ (T= temperatura en grados Kelvin, HR= humedad relativa del aire), la temperatura y humedad relativa que se usaron para el cálculo del potencial hídrico del aire fueron obtenidas de una estación meteorológica portátil (Coltein), la cual se ubicó a 200 m de la zona de trabajo.

Fluorescencia

Dentro de los parámetros establecidos para la fluorescencia existe un buen indicador del estado fisiológico de la planta, el rendimiento cuántico máximo del PSII (Fv/Fm) que presenta sensibilidad a los posibles tipos de estrés que puede sufrir una planta (Pettigrew, 2004). El uso de la fluorescencia de

la clorofila a nivel agrícola tiende a mejorar las estrategias de cosecha, debido a que diferentes factores nutricionales y ambientales pueden ocasionar variaciones en los valores de Fv/Fm en una planta (Baker *et al.*, 2004). Para la medición de fluorescencia se utilizó un fluorómetro Hansatech no modulado, en material previamente adaptado a la oscuridad y este parámetro se obtuvo en las horas de la noche para asegurar esta condición.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de potencial hídrico de los folíolos para los diferentes materiales se muestran en la figura 2. Todos los materiales presentan una tendencia marcada a hacer más negativo el potencial en las horas del medio día. Por otra parte, en las horas de la noche entre las 19:00 horas y las 4:00 horas se mantiene un potencial constante no mayor a -0.1 MPa.

En las mediciones se observa que a las 7:00 horas inicia el aumento del potencial hídrico de los folíolos, esto está relacionado con los primeros rayos de sol, un incremento en la temperatura y un descenso en la humedad relativa. Estas condiciones se mantienen hasta las horas del medio día. A las 13:00 horas está el punto más alto de temperatura y el más bajo de humedad relativa, lo que implica un alto potencial hídrico de la atmósfera (figura 3), generando una respuesta sobre la planta. Estas condiciones van decreciendo hacia las 16:00h, donde el potencial hídrico de los folíolos tiende a disminuir.

El potencial hídrico de la atmósfera, que es un valor derivado de la relación entre la temperatura y la humedad relativa del aire, mostró una fluctuación constante durante los días de muestreo. En la figura 3 se aprecian los valores más negativos en las horas del medio día, momento en el cual se tuvo la mayor temperatura y la menor humedad relativa del aire. Estos picos pueden implicar una presión sobre las plantas y pueden influenciar el aumento en el potencial hídrico de las hojas como se mostró en la figura 2.

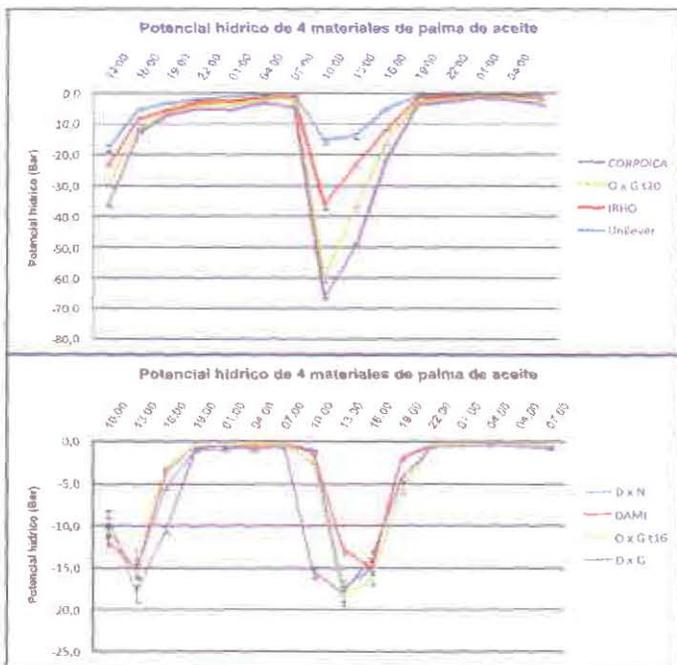


Figura 2. Variación del Ψ de los folíolos de 8 materiales de palma de aceite entre el 17 y 22 de septiembre de 2007

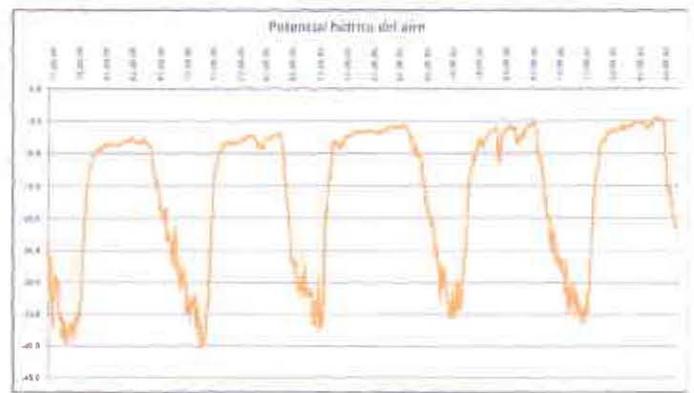


Figura 3. Variación del potencial hídrico de la atmósfera, en el Centro Experimental Palmer de La Vizcaína, durante las determinaciones fisiológicas.

Por otra parte, se mantiene constante un bajo potencial en la noche, cuando la humedad relativa es alta y la temperatura disminuye.

En cuanto a al potencial hídrico del suelo los resultados muestran una variación en las horas del medio día (figura 4), posiblemente por un aumento en la evaporación del agua en el suelo, debida al incremento en la temperatura en esas horas. No obstante, son potenciales poco negativos que implican un alto contenido de agua en el suelo.



Figura 4. Variación del Ψ del suelo en la zona de muestreo en el Palmer de la Vizcaína

Los aportes de agua al suelo por precipitación para el mes de agosto fueron superiores a los reportados en los últimos cinco años, con una precipitación acumulada de 2210 mm, por encima al promedio de los últimos cinco años. En efecto, desde el mes de marzo se están presentando precipitaciones mes superiores a los 250 mm (Tabla 2).

Tabla 2. Precipitación (mm) Enero-Agosto entre el 2003-2007 en el Campo Experimental el Palmer de La Vizcaína.

Mes	2003	2004	2005	2006	2007
Enero	0	0	0	42	20
Febrero	91	58	193	105	60
Marzo	195	111	203	140	258
Abril	334	285	400	285	453
Mayo	182	350	180	254	494
Junio	289	40	405	309	270
Julio	303	163	490	286	240
Agosto	244	167	190	183	415
Acumulada	1638	1174	2061	1604	2210

En esta época, el déficit hídrico del suelo es de cero y los valores de agua disponible se encuentran en su mayoría cercanos a los del agua fácilmente aprovechable, en la cual el suelo del estudio se encuentra en promedio en 32 mm de capacidad de almacenamiento (Figura 5).

Bibliografía

Anderson, J. M., Y.-I. Park, W. S. Chow. 1997. Photoinactivation and photoprotection of photosystem II in nature. *Physiologia Plantarum* 100 (2), 214-223.

Azcón, B., Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw Hill, Interamericana de España, S. A. U.

Baker Neil R. and Eva Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55 (403): 1607-1621

Corley, R.H.V.; 1983. Potential productivity of tropical perennial crops, *Expt Agric.*, 19: 217-237.

DaMatta, F.M. 2003. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In: *Advances in Plant Physiology*, vol. V. (ed. A. Hemantaranjan), pp. 227-265. Scientific Publishers, Jodhpur.

Dufrene, E.; Saugier, B. 1993. Gas exchange of oil palm in relation to light, vapor presión deficit, temperature and leaf age. *Oleagineux*, 48, nº 8, p347-356.

Hong, T.K., Corley, R.H.V.; 1976. Leaf temperature and Photosynthesis of tropical C3 plant, *Elaeis guineensis*. *Malay. Agric. Bull.* 4: 16-20

Ochs, R, Daniel, C. 1976. Research on techniques adapted to dry regions, In *Oil Palm Research* (Edited by R.H.V. Corley, J.J. Hardon and B.J. Wood) pp. 315-330. Elsevier, Amsterdam

Pettigrew, W. T. (2004) Cotton genotypic variation in the photosynthetic response to irradiance. *Photosynthetica* (Prague) 42: 567-571

Prasad, M. V. N. 1997. *Plant Ecophysiology*. Wiley and Sons. New York.

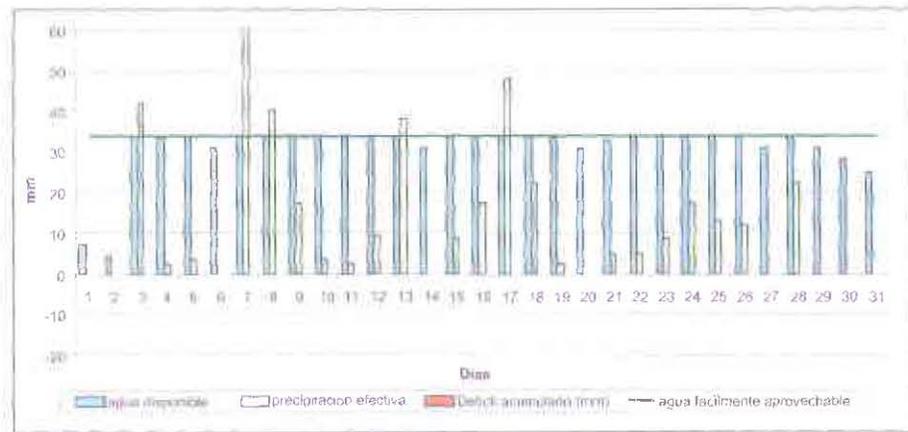


Figura 5. Balance hídrico del Campo Experimental el Palmar de La Vizcaina del mes de agosto de 2007.

Además de la valoración por potenciales hídricos en los materiales se realizó la medición de la fluorescencia en las palmas evaluadas, los datos obtenidos se relacionan en la tabla 3, en la cual se muestran los valores del índice Fv/Fm. Este índice proporciona una estimación del rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (PSII), donde Fv es la capacidad de PSII de realizar la fotoquímica primaria y Fm es el nivel de fluorescencia cuando QA máximo es reducido (centros del PSII está cerrado). La mayoría de datos presentaron un valor del índice Fv/Fm superior a 0,8, lo que implica que no hay un daño evidente en el PSII (Anderson *et al.*, 1997).

Tabla 3. Índice Fv/Fm en follajes de ocho materiales de palma de aceite

Material	Fv/Fm	Desvi
Unitaver	0,828	0,018
IRHO	0,826	0,009
OxG T20	0,822	0,044
CORPOICA	0,821	0,010
D x N	0,796	0,041
DAMI	0,826	0,032
OxG T16	0,828	0,038
DxG	0,829	0,020

Agradecimientos

A los investigadores del programa de Fisiología de Cenipalma por su colaboración en las determinaciones. Este trabajo está enmarcado dentro del Convenio de Cooperación Institucional entre Cenipalma y la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, y es financiado parcialmente por el Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma y por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) contrato IICA-Cenipalma-Fedepalma 509/2006.

cenipalma

Director: José Ignacio Sanz Scovino
 Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
 Coordinación editorial: Oficina de Comunicaciones
 Diseño y diagramación: Briceño Gráfico
 Impresión: Mulher Ltda. Impresores

Esta publicación contó con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero