

Desempeño fotosintético de genotipos de palma de aceite expuestos a condiciones de estrés hídrico

Carmenza Montoya¹, Edison Daza¹, Fernán Santiago Mejía-Alvarado¹, Arley Fernando Caicedo-Zambrano¹, Iván Mauricio Ayala-Díaz¹, Rodrigo Ruiz-Romero¹ y Hernán Mauricio Romero^{1,2,*}

¹Programa de Biología y Mejoramiento, Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, ²Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, *Autor para correspondencia: hmromeroa@unal.edu.co

Introducción

En algunas regiones de Colombia, el cultivo de la palma de aceite no está exento de la problemática de escasez de agua y esto impacta de forma negativa los principales indicadores de productividad. Desde la disciplina del mejoramiento se propone el aprovechamiento y estudio de recursos genéticos no explotados a nivel comercial para ampliar el abanico de opciones en la generación de cultivares con tolerancia a la sequía y así, caracterizar la respuesta a un factor abiótico limitante que podría no haberse considerado en los programas originales de mejoramiento. Variables fisiológicas, como la tasa fotosintética neta (A), la conductancia estomática (gs), la tasa de transpiración (E), la eficiencia del uso del agua a nivel foliar (WUE), el déficit de presión de vapor de la hoja (Δw) y el potencial hídrico foliar (Ψ_{Hoja}), son cruciales para comprender los mecanismos que permiten la regulación y el uso eficiente del agua en plantas. El equilibrio hídrico se correlaciona directamente con el tiempo de apertura y la resistencia estomática, ya que, si bien las plantas absorben CO_2 para la fotosíntesis, pierden agua por transpiración, con una intensidad variable según la conductancia estomática y el gradiente de potencial hídrico entre la superficie foliar y la atmósfera. Por lo anterior, la eficiencia fotosintética se ha estudiado para dilucidar parte de los mecanismos de tolerancia al estrés hídrico en la palma de aceite. En esta investigación se evaluó la respuesta de genotipos de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), la palma de aceite americana (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) y el híbrido interespecífico O×G (*E. oleifera* × *E. guineensis*) frente al estrés hídrico, para comprender el desempeño fotosintético y algunos de los mecanismos fisiológicos con el objetivo de fortalecer los programas de mejoramiento del híbrido O×G y cultivares tenera D×P (dura × pisifera).

Metodología

Esta investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA, municipio de Agustín Codazzi, Cesar, Colombia, a una altitud de 100 m s. n. m.; con precipitación media anual de 1.585 mm; con temperatura media de 28,7 °C; y una humedad relativa media del 60 %. El experimento se llevó a cabo en una casa de malla con un 40 % de polisombra, con una humedad relativa del 50 % y temperatura promedio de 35 °C.

Materiales y diseño experimental

Se evaluaron doce genotipos bajo condiciones de estrés hídrico (Tabla 1).

Plántulas con cinco hojas lanceoladas se trasplantaron a contenedores plásticos con 20 kg de suelo con una textura franco-arcillosa. Las plántulas se mantuvieron en condiciones de buen riego durante 90 días para adaptarse al nuevo sustrato. El diseño experimental consistió en un bloque completo al azar (BCA) con dos registros en la misma palma. La unidad experimental estuvo compuesta por cuatro plantas por genotipo, que se sembraron en cuatro repeticiones. Una vez establecida la línea base de la tasa fotosintética en condiciones de capacidad de campo (100 % de la tasa fotosintética), se suspendió el suministro de agua durante siete días y se monitoreó cada genotipo hasta que la tasa fotosintética disminuyó el 50 % o más.

Análisis estadístico: se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada condición (capacidad de campo y estrés hídrico). Se utilizó el programa estadístico R versión 4.3.0 para evaluar el comportamiento fisiológico de los 12 genotipos. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey (HSD) y se generaron diagramas de caja para visualizar la distribución de los parámetros fisiológicos por genotipo.

Parámetros fisiológicos: para cuantificar el intercambio de gases, la tasa fotosintética neta (A), la transpiración (E), el déficit de presión de vapor de la hoja (Δw) y la conductancia estomática (gs), se utilizó el sistema de fotosíntesis portátil de camino abierto LI-6800 (LI-COR, Nebraska, EE. UU.) Las mediciones se tomaron en la tercera hoja de las palmas en la mañana entre las 9:00 y las 11:00. Para verificar si las plantas estaban estresadas, se determinó el uso eficiente del agua de la hoja (WUE) mediante la relación de A a E (A/E). Las mediciones de intercambio gaseoso se realizaron en cuatro plantas mediante código por repetición.

Tabla 1. Lista de especies, origen genético de los parentales y genotipos expuestos al estrés hídrico.

Especie/genotipo	Parental femenino	Parental masculino	Código genotipo
<i>Elaeis oleifera</i> (O×O)	Manaos	Manaos	1147
			1381
	Dura IFA	Angola	1403
			1554
<i>Elaeis guineensis</i> (D×P)	Camerún	Yangambi	1424
			1459
	Perú	Angola	1530
			1363
<i>E. oleifera</i> × <i>E. guineensis</i> (O×G)	Manaos	Angola	1530
			1363
	<i>E. oleifera</i>	Congo	Mixto

Resultados y discusión

El análisis descriptivo reveló cambios sustanciales en los parámetros fisiológicos entre los tratamientos del suelo con la cantidad óptima de humedad (tratamiento bien regado) y el estrés por sequía. En lo referente a tasa fotosintética neta (A) (Figura 1) todos los genotipos redujeron significativamente las tasas fotosintéticas bajo estrés hídrico, pero se observó variabilidad entre ellos. Para el parámetro de la transpiración (E) (Figura 2) se observó una reducción aún más pronunciada en comparación a la fotosíntesis, lo que indica un fuerte control estomático en condiciones de estrés hídrico. La variable de conductancia estomática (gs) (Figura 3) muestra un patrón similar a la transpiración, con una reducción sustancial bajo estrés hídrico.

Este hallazgo confirma que el cierre estomático es un mecanismo de respuesta primario al estrés hídrico. En cuanto al uso eficiente del agua (WUE) (Figura 4) se aprecia que las plantas sometidas a tratamiento de estrés hídrico utilizan el agua de forma más eficiente que las plantas en capacidad de campo. Se resalta el genotipo 1530_Perú × Angola que presentó la mayor WUE en condición de estrés hídrico, lo que indica un mayor uso eficiente del agua en estas condiciones.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló efectos significativos para cada condición en la mayoría de las variables medidas. Esto indica que ambas condiciones afectaron todos los parámetros fisiológicos evaluados. En condiciones de capacidad de campo, se detectaron diferencias altamente significativas entre los genotipos para la fotosíntesis (A), la transpiración (E) y la conductancia estomática (gs) ($p < 0,001$). Se encontraron diferencias significativas para el déficit de presión de vapor de la hoja (Δw) ($p < 0,05$) y la eficiencia del uso del agua (WUE) ($p < 0,01$), lo que demuestra que los genotipos evaluados responden de manera diferente a las condiciones óptimas de riego. Bajo estrés hídrico, se detectaron diferencias significativas entre los genotipos en cuanto a fotosíntesis (A) ($p < 0,01$), transpiración (E), conductancia estomática (gs), potencial hídrico foliar (Ψ_{leaf}) ($p < 0,001$) y déficit de presión de vapor de la hoja (Δw) ($p < 0,01$), lo que sugiere que los genotipos responden de forma diferente al estrés hídrico. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre los genotipos en cuanto al uso eficiente del agua (WUE), lo que podría indicar una respuesta más uniforme de estos parámetros entre los genotipos estudiados.

En general, los híbridos O×G y el genotipo de *E. oleifera* mostraron una mayor susceptibilidad a los cambios en el contenido de agua del suelo, en particular aquellos que comparten el origen Manaos, lo cual podría estar relacionado con los ambientes en los que se desarrolla naturalmente, como los márgenes de la selva tropical.

En condiciones óptimas, los genotipos O×G 1915 (U1937H) y 1433 (Manaos × Angola) presentaron las tasas fotosintéticas más altas. Sin embargo, cuando la disponibilidad hídrica fue limitada, estos mismos genotipos mostraron una mayor sensibilidad, con una disminución más pronunciada en los parámetros relacionados con el intercambio gaseoso. En contraste, los genotipos de *E. guineensis* 1424 (Camerún × Yangambi) y 1381 (Dura IFA × Angola) en capacidad de campo mostraron tasas fotosintéticas más bajas y, bajo estrés hídrico, presentaron una mayor plasticidad fisiológica al mantener tasas de intercambio gaseoso comparativamente mejores que los otros genotipos.

Los principales resultados mostraron que los genotipos de *E. guineensis* fueron los más eficientes en la fotosíntesis en condiciones de estrés hídrico, seguido de los genotipos de híbrido y de *E. oleifera*. Los parámetros fisiológicos mostraron buenas perspectivas para el mejoramiento vegetal con diferentes híbridos O×G, principalmente debido a su capacidad para mantener el equilibrio entre la asimilación de CO_2 y la apertura estomática.

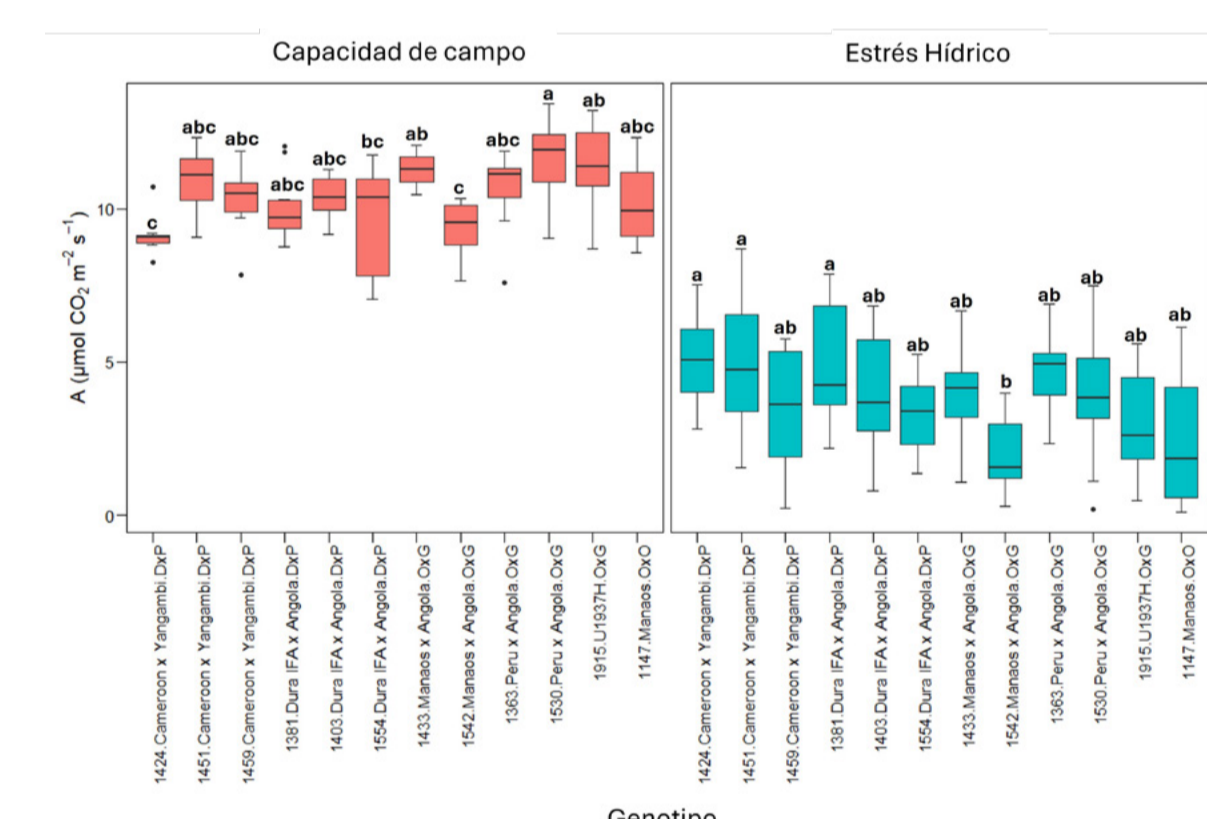


Figura 1. A: Tasa fotosintética neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Tratamiento por genotipo. La prueba de comparación de medias de Tukey muestra que los valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

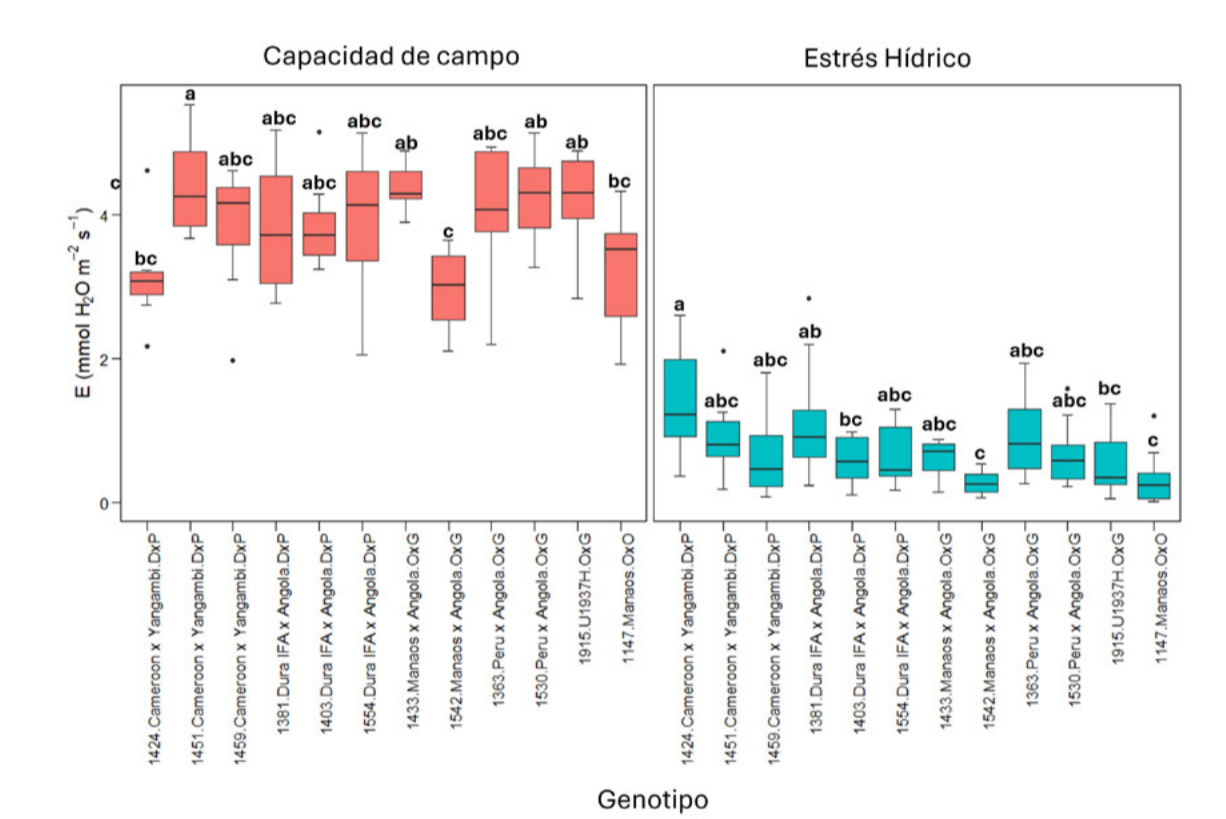


Figura 2. E: tasa de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Tratamiento por genotipo. La prueba de comparación de medias de Tukey muestra que los valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

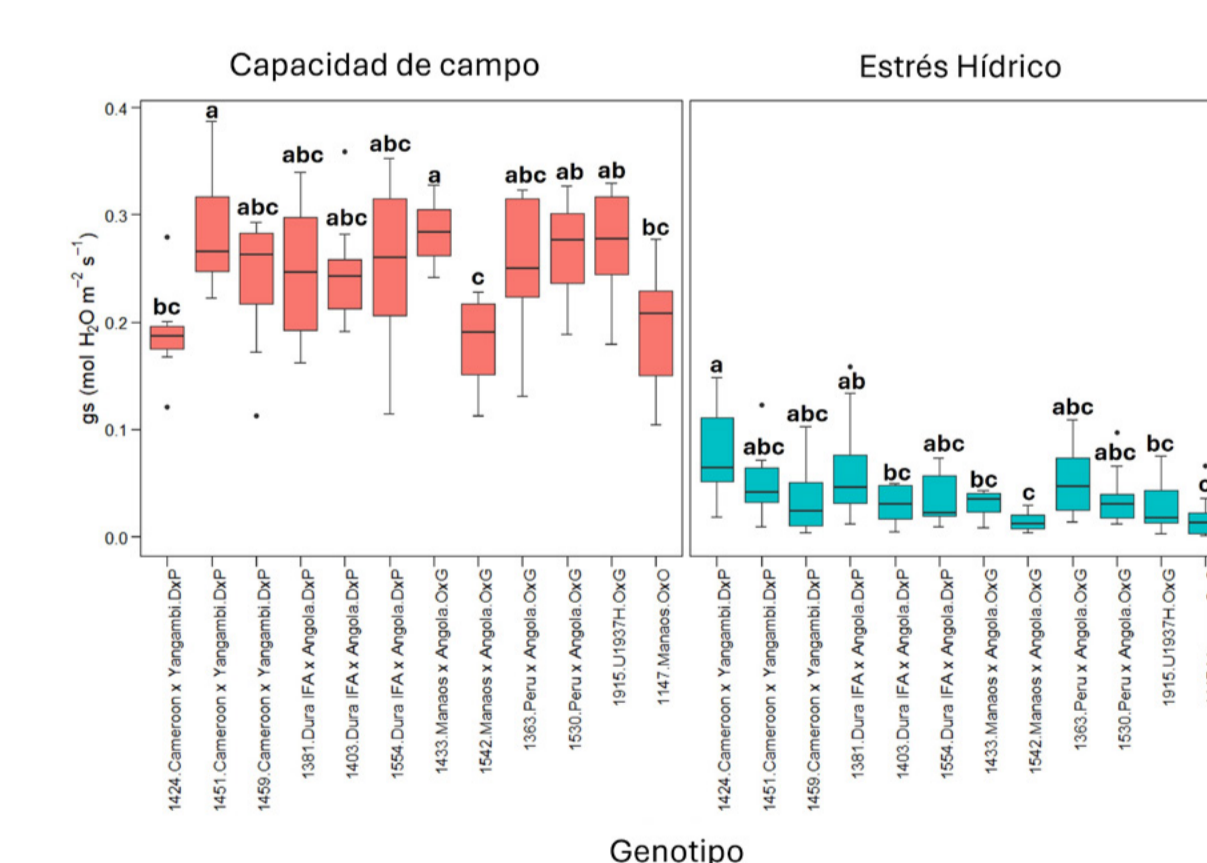


Figura 3. gs: conductancia estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Tratamiento por genotipo. La prueba de comparación de medias de Tukey muestra que los valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

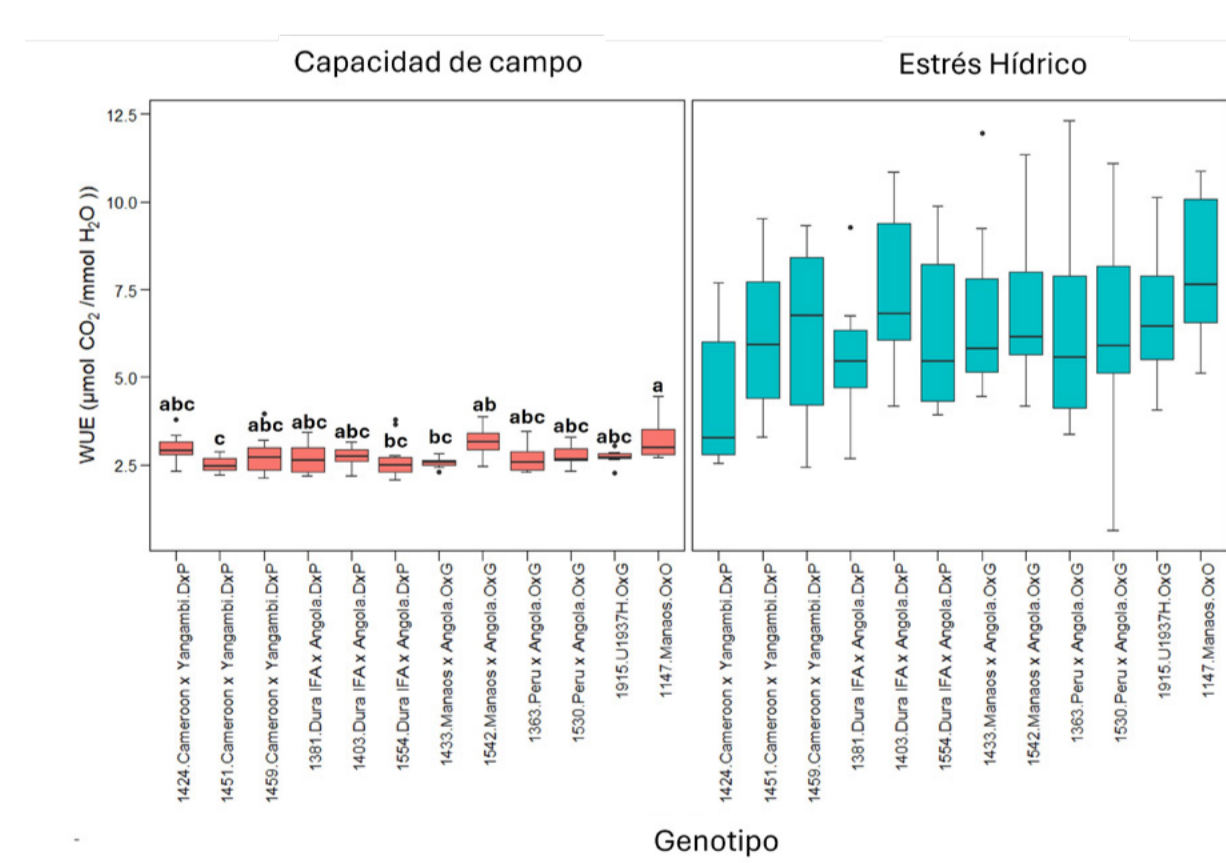


Figura 4. WUE: uso eficiente del agua ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$). Tratamiento por genotipo. La prueba de comparación de medias de Tukey muestra que los valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). La ausencia de letra en la prueba de comparación de medias de Tukey, indica que no se observaron diferencias estadísticas significativas.



Este trabajo se encuentra publicado como:

Montoya, C.; Daza, E.; Mejía-Alvarado, F.S.; Caicedo-Zambrano, A.F.; Ayala-Díaz, I.; Ruiz-Romero, R.; Romero, H.M. Photosynthetic Performance of Oil Palm Genotypes under Drought Stress. *Plants* 2024, 13, 2705. <https://doi.org/10.3390/plants13192705>

Agradecimientos

Al personal del programa de Biología y Mejoramiento de Cenipalma por su colaboración en el registro y análisis de la información.

Esta investigación fue financiada por el Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma, (año 2019-2024) y el Sistema General de Regalías (SGR) de Colombia y el Departamento del Cesar, Colombia, contrato n.º 2019-02-1363.

La información contenida en este póster es responsabilidad de los autores

CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO