



PLASTICIDAD ECOFISIOLÓGICA DE ÁRBOLES DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) EN DIFERENTES AMBIENTES DE VENEZUELA ECOPHYSIOLOGICAL PLASTICITY OF COCOA TREES (*THEOBROMA CACAO* L.) FROM DIFFERENT ENVIRONMENTS OF VENEZUELA

Tezara Wilmer,¹ Coronell,¹ Urich Rosa,¹ Marín Oranys¹, Jaimez Ramón², Chacón I.³

¹Instituto de Biología Experimental, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela Apartado 47829. Caracas 1041A, Venezuela. ² Universidad de Los Andes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Mérida, Venezuela. ³ Corpozulia. Estación Chama. Km 42 Santa Bárbara-El Vigía. Estado Zulia.

RESUMEN

El desempeño fotosintético y la eficiencia en el uso del agua (EUA) de cultivares élite de cacao (*Theobroma cacao* L.) fue estudiado mediante la evaluación del intercambio gaseoso, la actividad fotoquímica del fotosistema II, el potencial hídrico (ψ), la EUA instantánea e integrada y el contenido de nitrógeno de árboles jóvenes y adultos de los tres tipos de cacao (criollo, trinitario y forastero) en diferentes ambientes de crecimiento en Venezuela. Se encontró una alta plasticidad fisiológica en algunos de los cultivares estudiados en respuesta a la sequía. La tasa fotosintética (A) de la mayoría de los genotipos del tipo de cacao criollo y criollo “moderno” no disminuyó con la sequía a diferencia de los genotipos de cacao Trinitario y cacao tipo Forastero cuya A disminuyó. La composición isotópica de carbono foliar ($\delta^{13}C$), como medida integral de la EUA, aumentó durante el periodo de sequía en los genotipos de cacao criollo. Los árboles adultos medidos en su ambiente original, no difirieron de sus contrapartes más jóvenes en la A . La tolerancia relativa a la baja disponibilidad hídrica en el suelo observada en los genotipos criollos y las respuestas de los diferentes caracteres ecofisiológicos evaluados indican que existen divergencias entre los diferentes tipos de cacao existentes en Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie arbórea y alógama de origen Suramericano, con una grande diversidad genética, que pertenece a la familia Malvaceae (Motamayor *et al.*, 2002). El cacao ha sido dividido en dos grandes grupos genéticos: “Criollo” y “Forastero”, que presentan diferencias en las características del fruto y la almendra así como en la calidad y sabor. Además, se considera un tercer grupo, el “Trinitario”, cuyo origen posiblemente sea la isla de Trinidad como resultado de la hibridación (*cruzamiento de criollo x forastero*) entre individuos criollos introducidos desde el este de Venezuela con forasteros del Amazonas. Además en Venezuela existe el denominado cacao criollo “moderno” que son híbridos con muchas de las características del cacao criollo original.

De otro lado, la eficiencia en el uso del agua (EUA) en las plantas es una relación entre la fotosíntesis (A) y la transpiración (E), resultado de la posible optimización entre la regulación estomática y el metabolismo fotosintético (Farquhar y Sharkey, 1982), por lo tanto, los cambios de la EUA podrían reflejar variaciones coordinadas o no en la A y en la conductancia estomática (g_s). Además, la composición isotópica de ^{13}C ($\delta^{13}C$) foliar, herramienta poderosa para analizar la relación de las plantas con su ambiente y una medida integral de la EUA del tejido foliar (Farquhar y Richards, 1984). Por tanto, estudios ecofisiológicos mediante el uso de esas herramientas de las especies vegetales de interés económico originarias de ambientes de sub-bosque a las limitaciones del recurso hídrico en el suelo son necesarios y de suma importancia en un contexto de cambio climático.

Th. cacao es una especie que evolucionó en ambientes del sub-bosque de las selvas tropicales que se caracterizan por su alta precipitación y reducida disponibilidad de luz (Baligar et al., 2008) y muchos trabajos realizados con plántulas de esa especie en condiciones de laboratorio o invernaderos han reportado una baja tasa de asimilación de CO₂, reducida conductancia estomática (g_s), una alta sensibilidad al déficit hídrico en el suelo, al incremento del déficit de presión de vapor (DPV), y a la alta irradiancia (Almeida y Valle, 2007). Sin embargo, son escasos los trabajos que en donde se comparan las respuestas ecofisiológicas tanto en individuos jóvenes como en individuos adultos de los diferentes tipos de *Th. cacao*, en ecosistemas agrícolas y en hábitats naturales, particularmente, a la disponibilidad de agua en el suelo y, menos aún, si existen divergencias intra-específicas en la plasticidad fisiológica, como posible estrategia para responder a la reducción del *status* hídrico en el suelo, en esta especie Neotropical.

Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar las diferencias de la fotosíntesis y la EUA entre individuos jóvenes y adultos de *Theobroma cacao* en respuesta a la variación estacional en la disponibilidad de agua del suelo en diferentes ambientes de Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características climáticas y ubicación de las localidades de muestreo

La ubicación de los bancos de germoplasma donde los árboles muestreados tenían alrededor de 5 años y de los sitios con árboles adultos, con más de 30 años se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas, altura, precipitación y temperatura promedio anual de las localidades donde se encuentran los árboles muestreados.

Zonas de Muestreo	Edad de árboles	Localidad de las colecciones	Cultivares	Tipo de cacao
<i>Tapipa</i> (banco de germoplasma) 10°13' N, 66°18' W 230 msnm 2200-2479 mm; 26-28°C	5 años	Barlovento	Santa Cruz 10 (SC10)	Trinitarios
			Panaquire (PAN) La Concepción (CON)	
		Costa Central	Chuo (CHUAO 1) Chuo 2 (CHUAO 2)	Criollos modernos
		Isla de Margarita	MPR 1 MPR 11 MPR 14	Forasteros
		Occidente	Guasare	Criollos
Corpozulia (banco de germoplasma)				
8°50' N, 71°44' W 40 msnm 1750-1882mm, 28°C	5 años	Occidente	Los Caños (LCA 001) Sur Porcelana (SP 010) Escalante (ESC 001)	Criollos
Arboles adultos				
<i>Andrés España (AE)</i> 10°31' N, 67°32' W 15 msnm <i>Palmire (PAL)</i> 10°28' N, 67°31' W 80 msnm 747 mm; 28°C	35-40 años	Costa Central	Chuo	Criollos modernos
<i>Isla de Margarita</i> 11°01' N, 63°53' W 455 msnm 1960mm; 24°C	>50 años	Occidente	Montaña Palma Real (MPR)	Criollos Forasteros
<i>Sierra de Perijá</i> 10°54' N, 72°28' W 180 msnm 2650 mm; 28-30°C	>50 años	Occidente	Guasare	Criollos

Medidas fisiológicas: Se midió el potencial hídrico matutino con una cámara de presión (PMS Instruments Inc., Corvallis, OR.). Para las medidas de fotosíntesis (A), transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) se usó un analizador infrarrojo de gases CIRAS 2 (PP Systems, Hitchin, RU.). Se realizaron medidas de fluorescencia de la clorofila *a* con un fluorímetro (PAM 2100, Walz, Effeltrich, Alemania). La composición isotópica de carbono foliar (d¹³C) se determinó por espectrometría de masa.

RESULTADOS

El $\delta^{13}\text{C}$ disminuyó en un 40 % con la sequía en la mayoría de los cultivares de los bancos de germoplasma, con excepción de los cultivares de Chuao. El $\delta^{13}\text{C}$ observado en los árboles adultos fue mayor, indicando un buen estado hídrico para el momento del muestreo. Los árboles adultos de los cultivares de Chuao y Guasare mostraron contenidos foliares de N ligeramente superiores al de los jóvenes en el banco de germoplasma. En promedio, el valor de $\delta^{13}\text{C}$ de los árboles de los bancos de germoplasma fue -300.3 ‰ en el período lluvioso, inferior con respecto a los valores obtenidos en sequía ($-29 \pm 0.2 \text{ ‰}$).

Los parámetros de intercambio gaseoso (A , g_s , EUA) difirieron significativamente entre los cultivares de los bancos de germoplasma (Tabla 2). Los cultivares de Chuao y Margarita mostraron las mayores A en la época de lluvias en comparación al resto de los cultivares. La sequía ocasionó una mayor disminución de A en los cultivares de Margarita y en Guasare. Igual tendencia fue observada en la g_s y en la EUA. La A de los cultivares de Chuao no cambió con la sequía con una EUA relativamente constante y alta en los dos periodos (Tabla 2). En árboles adultos se encontró que la A no fue significativamente diferente a la de los jóvenes, sin embargo, algunos cultivares criollos mostraron mayor g_s . Los criollos adultos mostraron mayor EUA (Tabla 2).

Los árboles adultos mostraron diferencias significativas en F_v/F_m y F_{PSII} entre cultivares. Los cultivares criollos mostraron mayores valores en F_v/F_m y mayores en F_{PSII} en hojas no expuestas a la luz en comparación con los híbridos de Barlovento. Los valores de F_{PSII} de hojas expuestas fueron significativamente menores a los de hojas no expuestas a la luz y difirieron entre cultivares.

DISCUSIÓN

Th. cacao ha sido utilizado tradicionalmente como una especie cultivada en zonas caracterizadas por un régimen pluviométrico alto (1.800 a 2.500 mm), temperaturas entre los 20 y 32°C y una altitud entre los 0 y 600 msnm, bajo la sombra de sistemas agroforestales intentando simular las condiciones de su hábitat natural. Sin embargo, en muchas de las zonas productoras ocurren períodos cortos o prolongados con disminución en el régimen de precipitación que afectan el crecimiento, el desempeño fotosintético, la EUA y la productividad.

En este trabajo se encontró que las tasas fotosintéticas de las plantas muestreadas son bajas y similares a las reportadas en trabajos anteriores (Pereyra *et al.*, 2007, Almeida y Valle, 2007, Baligar *et al.*, 2008). Los mayores valores de $\delta^{13}\text{C}$ se observaron durante la sequía sugiriendo una mayor EUA integrada, por lo que el $\delta^{13}\text{C}$ puede ser utilizado como un indicador para la selección de cultivares que optimicen la EUA.

Los cultivares criollos y criollos “modernos” presentaron mayor EUA y una menor sensibilidad a la sequía. Por lo tanto, el uso de cultivares de este tipo de cacao en zonas con baja disponibilidad hídrica puede ser adecuado. La menor actividad fotoquímica en los cultivares de cacao tipo Trinitario, sugiere que estos materiales son más susceptibles a alta radiación.

Las variaciones en el $\delta^{13}\text{C}$, contenido de N foliar, $\delta^{13}\text{C}$, intercambio gaseoso y actividad fotoquímica del fotosistema II, entre los cultivares y temporadas indican que *T. cacao* exhibe una plasticidad fisiológica para responder a la disponibilidad. Se encontró además que los árboles con edades superiores a 30 años a los de sus contrapartes más jóvenes siendo los criollos modernos de Chuao los de mejor desempeño fotosintético. años pertenecientes a los cultivares criollos, tenían menor g_s pero mantenían una tasa fotosintética similar.

Tabla 2. Tasas de fotosíntesis (A), conductancia estomática (g_s) y eficiencia de uso de agua (EUA) de diferentes variedades de cacao en árboles de los bancos de germoplasma en temporada de lluvia (LL) y sequía (S) y de árboles adultos en condiciones naturales.

Plantas de los bancos de germoplasmas				
Cultivares	Temporada	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	EUA (mmol mol^{-1})
SC10	LL	2,2 ± 0,4	20 ± 9	2,8 ± 0,5
PAN		2,7 ± 0,9	40 ± 8	1,7 ± 0,4
CONC		1,4 ± 0,5	40 ± 10	1,8 ± 0,8
SC10	S	2,1 ± 0,4	40 ± 8	2,1 ± 0,3
PAN		3,1 ± 0,3	58 ± 4	2,6 ± 0,2
CONC		1,9 ± 0,3	68 ± 11	1,6 ± 0,3
CHUAO 1	LL	4,3 ± 0,5	60 ± 10	5,1 ± 0,1
CHUAO 2		3,9 ± 0,2	50 ± 10	4,4 ± 0,3
CHUAO 1	S	3,5 ± 0,6	77 ± 13	3,3 ± 0,3
CHUAO 2		3,9 ± 0,5	74 ± 12	4,4 ± 0,2
MPR 1	LL	5,2 ± 0,3	90 ± 9	4,8 ± 0,5
MPR 11		4,9 ± 0,5	90 ± 5	3,4 ± 0,4
MPR 14		5,1 ± 0,4	90 ± 4	3,3 ± 0,3
MPR 1	S	1,3 ± 0,2	32 ± 4	2,3 ± 0,3
MPR 11		1,3 ± 0,5	32 ± 8	1,7 ± 0,3
MPR 14		2,1 ± 0,5	47 ± 6	2,0 ± 0,3
GUASARE	LL	4,5 ± 0,5	90 ± 20	4,9 ± 0,9
GUASARE	S	1,5 ± 0,2	33 ± 3	1,7 ± 0,2
LCA	LL	4,9 ± 0,3	120 ± 20	3,8 ± 1
SP 10		6,0 ± 0,7	340 ± 50	3,0 ± 0,4
ESC 001		3,6 ± 0,6	80 ± 20	2,4 ± 0,5
LCA	S	4,3 ± 0,6	52 ± 37	4,0 ± 0,3
SP 10		5,9 ± 0,3	80 ± 10	5,8 ± 0,5
ESC 001		5,1 ± 0,8	100 ± 20	2,1 ± 0,7
Arboles adultos				
SC10		4,5 ± 0,9	83 ± 13	3,9 ± 0,4
PAN		1,5 ± 0,5	39 ± 4	2,0 ± 0,7
CONC		3,1 ± 0,6	217 ± 57	2,0 ± 0,7
AE		5,1 ± 0,8	89 ± 15	4,5 ± 0,7
PAL		7,3 ± 0,15	102 ± 15	5,6 ± 0,8
MPR Criollo		3,3 ± 0,2	54 ± 15	4,2 ± 0,1
MPR forastero		4,2 ± 0,4	57 ± 6	4,3 ± 0,5
GUASARE		3,8 ± 0,5	55 ± 4	1,9 ± 0,1
LCA		6,9 ± 0,3	143 ± 14	5,1 ± 0,3
SP 10		4,3 ± 0,03	126 ± 13	4,4 ± 0,3
ESC 001		5,2 ± 0,9	279 ± 44	2,8 ± 0,6

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV (PG 03-00-6874-2007) y por el MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (MCT), proyecto N° 200500898.

BIBLIOGRAFÍA

Almeida A-A, Valle R. 2007. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19 (4): 425-448.

Baligar VC, Bunce JA, Machado RCR, Elson MK. 2008. *Photosynthetica* 46 (2): 216-221.

Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agrícolas (FEDEAGRO). 2007. www.fedeagro.org

Farquhar GD, Sharkey TD. 1982. *Annual Review of Plant Physiology* 33: 317-345.

Farquhar GD, Richards RA. 1984. *Australian Journal of Plant Physiology* 11, 539-552.

Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A, Lanaud C. 2002. *Heredity* 89: 380-386.

Pereyra G, Villalobos V., Rondón O. I., Chacón R., Jaimez R., Tezara W. 2007. *Congreso Venezolano de Botánica*, 669-672 pp.

Santiago LS, Silvera K, Andrade JL, Dawson TE. 2005. *Interciencia* 30(9):536-542.