

ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA DE DIEZ CLONES DE CACAO NACIONAL Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF TEN NATIONAL COCOA CLONES AND THEIR RELATIONSHIP TO YIELD

Tezara Fernández, Wilmer; Valencia Caicedo, Enqui Euliquio; Reynel Chila, Víctor Hugo; Bolaños Ortega, Milton José; Blanco Flores, Héctor

Wilmer Tezara Fernández

wilmer.tezara@ciens.ucv.ve

Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador
Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Enqui Euliquio Valencia Caicedo

Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador

Víctor Hugo Reynel Chila

Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador

Milton José Bolaños Ortega

Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador

Héctor Blanco Flores

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Revista ESPAMCIENCIA

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador

ISSN: 1390-8103

Periodicidad: Semestral

vol. 11, núm. 1, 2020

revista@espam.edu.ec

Recepción: 10 Abril 2020

Aprobación: 28 Junio 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/527/5272432003/>

DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i1.202



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: Con la finalidad de identificar clones con un buen desempeño fisiológico, obtener información relevante de la actividad fotosintética y su correlación con la producción del cacao nacional, se evaluó la actividad fotosintética: la tasa de fotosíntesis (A), conductancia estomática (gs), eficiencia de uso de agua (EUA) y actividad fotoquímica: eficiencia cuántica del PSII (FPSII), tasa de transporte de electrones (J) y la producción de mazorcas y almendras de cacao de 10 clones de cacao nacional cultivados en el norte de Esmeraldas. Se encontraron diferencias en A, gs, J y FPSII entre los clones; observándose las mayores A en PMA 12, T8 e INIAP 484, producto de altas gs y J. Hubo una correlación positiva y significativa entre J, fotosíntesis potencial (J/10) y la producción de cacao en los clones evaluados, sugiriendo que las mayores A, producto de una mayor actividad fotoquímica en el cacao ecuatoriano, contribuiría con una mayor cantidad de foto asimilados, que podrían explicar parcialmente una mayor producción. Los resultados indican que los clones T8, T1, T11 y PMA 12 muestran un alto desempeño fotosintético, con una mayor tolerancia a enfermedades (menor índice de mazorcas enfermas) y una mayor producción, por lo que podrían ser recomendados para la zona del Norte de Esmeraldas; mientras que los clones T13, INIAP 484, T23 y T24, funcionan de manera opuesta, es decir baja producción, baja capacidad fotoquímica y susceptibles a enfermedades (alto índice de mazorcas enfermas).

Palabras clave: Fotosíntesis, fluorescencia, cacao, mazorca, uso de agua, producción.

Abstract: Photosynthetic activity was evaluated in order to identify clones with good physiological performance and obtain relevant information on photosynthetic activity and its correlation with national cocoa production. The analysis included the photosynthesis rate (A), stomatal conductance (gs), water use efficiency (WUE) and photochemical activity: quantum yield of PSII (FPSII), electron transport rate (J) and the production of cocoa pods and kernels from ten domestic cocoa clones grown in northern Esmeraldas. Differences in A, gs, J and FPSII were found among the clones; the highest A was observed in PMA 12, T8 and INIAP 484, because of high gs

and J. There was a positive and significant correlation between J, potential photosynthesis (J/10) and cocoa production in the clones evaluated, suggesting that the higher A, as a result of higher photochemical activity in Ecuadorian cocoa, would contribute to a higher amount of photoassimilates, which could partially explain a higher production. The results indicate that the T8, T1, T11 and PMA 12 clones show a high photosynthetic performance, with a higher tolerance to diseases (lower index of diseased pods) and a higher production, so they could be recommended for the northern area of Esmeraldas; while the T13, INIAP 484, T23 and T24 clones work in the opposite direction, i.e. low production, low photochemical capacity and susceptibility to diseases (high index of diseased pods).

Keywords: Photosynthesis, fluorescence, cocoa, pods, water use, production.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos perennes más importantes del mundo, cultivado por casi 6 millones de agricultores en varios países tropicales (Baligar et al., 2008). La producción mundial de cacao para el 2018, superó las 4,65 toneladas métricas, con su rendimiento superior a los 620 kg ha⁻¹. Ecuador forma parte de un grupo selecto de países en América que son productores de cacao fino de aroma, siendo actualmente el primer productor en Latinoamérica y el tercer productor de cacao a nivel mundial (ICCO, 2019).

La producción promedio de cacao ecuatoriano representa el 6,2% del total mundial (Sánchez y Garcés, 2012; ICCO, 2019). En el 2018, el rendimiento en Ecuador fue de 585 kg ha⁻¹ (287 000 toneladas en un área cosechada de 490 000 ha), ligeramente inferior al promedio de producción mundial (ICCO, 2019).

El cacao es un árbol tropical semicaducifolio, perteneciente a las Malvaceae (Alverson et al., 1999), con una distribución que abarca los bosques lluviosos de la cuenca amazónica, de Centro y Sur América (Zhang et al., 2009). Su centro de diversidad se encuentra en la región amazónica (Motamayor et al., 2002). Actualmente del cacao está agrupado en 10 grupos genéticos: Amelonados, Contamana, Guiana, Iquitos Marañón, Nanay, Purús, Nacional, Curaray y Criollo (Motamayor et al., 2008), los últimos tres grupos se encuentran en el Ecuador.

En el Ecuador existe un tipo de cacao fino de aroma único en el mundo, ya que a nivel sensorial posee altas notas florales, deno minado cacao “Arriba”, proveniente de la variedad Nacional considerado como cacao Forastero, debido a su genética, morfología de la mazorca y coloración violeta oscuro de sus semillas. Sin embargo, Loor y Amores (2003) señalan que en el Ecuador no existe una variedad nacional genéticamente pura del cacao, lo que se encuentra es una mezcla de híbridos naturales que se agrupan en el complejo “Nacional x Trinitario” y algunas poblaciones de Criollo ubicados al Norte de Esmeraldas.

A pesar de que los programas de mejoramiento genético en Ecuador están basados en una extensa información agronómica, de productividad y tolerancia a enfermedades de la mayoría de los clones del cacao, carecen de información ecofisiológica; todavía existe desconocimiento de muchos procesos fisiológicos en cacao y es escasa la información de la actividad fotosintética en cacao ecuatoriano (Tezara, 2017). Esta información puede considerarse imprescindible para entender las respuestas potenciales de aclimatación y su relación con las variables de producción de los nuevos clones de cacao a las diferentes regiones agroecológicas.

El cacao muestra tasas de fotosíntesis (A) relativamente bajas y probablemente requiere de grandes cantidades de carbohidratos para el rendimiento del cultivo; sin embargo, las complejas interacciones entre

la fotosíntesis, asignación y almacenamiento de carbono y la descomposición y por tanto la degeneración de los árboles, no han sido estudiadas en detalle (Tezara, 2017).

Las A y conductancias estomáticas (g_s) reportadas de los diferentes clones de cacao cultivados en invernadero y en campo son bajas, y varían entre 3 a 7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 50 a 120 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Daymond et al., 2011; Acheampong et al., 2013; Tezara et al., 2020). Se ha reportado que el cacao muestra una alta sensibilidad al déficit hídrico del suelo (Tezara et al., 2016, 2020) y a alta densidad de flujo fotónico (DFF) entre otros estreses abióticos (De Almeida et al., 2018).

El intercambio de gases permite estimar los cambios en la capacidad fotosintética producidos por algún tipo de estrés; sin embargo, estas medidas no pueden definir completamente los efectos en los procesos bioquímicos y fotoquímicos involucrados en la fijación de carbono, por lo que las medidas de actividad fotoquímica, como la fluorescencia de la clorofila a son de gran importancia para ampliar la información fisiológica de las plantas (Krause y Weis, 1991; Wang y Kellomäki, 1997). La fluorescencia del fotosistema II (PSII) están relacionadas con las reacciones de óxido-reducción de los complejos proteínas-pigmentos en los tilacoides (reacciones fotoquímicas); y los parámetros derivados de la fluorescencia pueden expresar la capacidad máxima de respuesta de la maquinaria fotosintética de una planta (Krause y Weis, 1991).

Generalmente se ha reportado que el cacao es una especie umbrófila que crece en ambientes del soto-bosque de las selvas tropicales con alta precipitación y reducida disponibilidad de luz. El cacao muestra un bajo punto de saturación de luz (300-600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), bajas tasas máximas de fotosíntesis a luz saturante, bajas tasas de respiración en oscuridad y altas eficiencias cuánticas (Tezara et al., 2016; Ávila-Lovera et al., 2016; De Almeida et al., 2018).

Se ha reportado que el cacao es incapaz de adaptarse a una alta DFF, aun cuando se conoce la existencia de cacaos cultivados exitosamente en plena exposición en Brasil, Ecuador y países africanos (Ghana y Costa de Marfil). Las respuestas de la A en altas intensidades lumínicas y sus efectos sobre el crecimiento varía entre cultivares de cacao (Tezara et al., 2015; De Almeida et al., 2018; Jaimez et al., 2018). Recientemente, se han estudiado diferentes variables ecofisiológicas, tales como la actividad fotosintética e intercambio de gases, eficiencia de uso de agua y actividad fotoquímica del PSII, en algunos clones de cacao ecuatorianos (Tezara et al., 2015, 2016, 2017; Jaimez et al., 2018). En 20 clones de cacao ecuatoriano cultivados a plena exposición solar en el norte de Esmeraldas, se redujo significativamente el área foliar específica y la eficiencia cuántica máxima del fotosistema II (F_v/F_m), mostrando cambios morfoanatómicos y regulación descendente del aparato fotoquímico, lo que sugirió la aclimatación de cacaos ecuatorianos a diferentes condiciones lumínicas (Tezara et al., 2015). En las condiciones climáticas en la costa de Ecuador, donde la mayor parte del año hay alta densidad de nubes y baja demanda evaporativa, existe la posibilidad de cultivar cacao a plena exposición solar (Jaimez et al., 2018).

Recientemente, se reportó en 8 clones de cacao Nacional, en CCN 51 y EET 103 un aumento del 35 % en promedio en la A con el incremento del DFF desde 400 a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La A se asoció con una mayor tasa de transporte de electrones, mientras que la alta conductancia estomática se mantuvo en ambas condiciones de DFF (Jaimez et al., 2018).

El cacao ecuatoriano cultivado a plena exposición presentó una mayor capacidad fotosintética que el cacao de la costa en Venezuela; mostrando mayores A en las reportadas en la literatura ($A < 7 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), lo cual podría representar una ganancia genética importante para lograr óptimos rendimientos (Tezara et al., 2017; Jaimez et al., 2018).

Es importante generar información relevante, y novedosa del intercambio gaseoso y actividad fotoquímica del fotosistema II de clones de cacao ecuatoriano. El principal objetivo del estudio consistió en evaluar la actividad fotosintética y su correlación con la producción de 10 clones de cacao.

Se espera que la actividad fotosintética se relacione con la producción en los clones de cacao estudiado. Esta información permitirá seleccionar clones que tengan un buen desempeño fisiológico (mayor capacidad fotosintética y/o mejor eficiencia de uso de agua) y su relación con la producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y diseño experimental

La investigación se realizó en una finca ubicada en San Agustín, Eloy Alfaro, provincia de Esmeraldas, (N 01° 03' 210" y S 078° 55' 83"). Se utilizó un diseño de bloques al Azar (10 parcelas con 50 plantas de cada clon por repetición), con 10 tratamientos y 2 repeticiones, en un área de 1,245 ha. Cada planta clonal fue sembrada a una distancia de siembra de 3 x 4 m, para un total de 1000 plantas en el área de muestreo (unidad experimental: 100 plantas x 10 tratamientos). La evaluación de las variables agronómicas, se realizó de enero a septiembre del 2019, en árboles de 7 años de edad. Las variables fisiológicas se realizaron en septiembre, al final del muestreo.

Material vegetal

Se evaluaron 10 clones de cacao: ocho clones de cacao nacional productivos, tolerantes a enfermedades (T1, T8, T10, T11, T13, T16, T23 y T24) provenientes de una selección avanzada de cruzamientos genéticos, procedentes de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP (EET), clon PMA 12 (Cacao del complejo nacional), que proviene de la selección realizada por la (UTE-LVT y un agricultor, el Sr. Máximo Pincay) en la parroquia Malimpia, del cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas y el clon CCN-51 (Colección Castro Naranjal); usado como control, dada su alta productividad en diversas regiones del Ecuador.

Condiciones edafoclimáticas del sitio

La precipitación promedio anual es de 2600 mm, de enero a junio es el periodo con mayor precipitación, mostrando su máxima fuerza en mayo (560,4 mm) y un promedio mensual de 222,2 mm, con una temperatura de 25,9 °C mensual, heliofanía 88,7 horas por mes y con una humedad relativa de 84,1 % (Estación Meteorológica de San Lorenzo, INAMHI). Textura del suelo limo— arcillosa, con un pH de 5,5.

Manejo agronómico

El área del ensayo se fertilizó con base al análisis químico del suelo con Urea 46%, DAP 18-46-00, CLK 60 % durante el periodo de estudio. La dosis de fertilizantes que se aplicó fue: 349,71gr de Urea (2 aplicaciones de 174,85 gr), 217,39 gr DAP y 250 gr CLK) por planta, para obtener un óptimo desarrollo del cultivo y maximizar la producción. Se eliminaron los frutos enfermos con moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) y cherrille wilt (marchitez prematura) cada 15 días; se procedió a cortar todos los frutos enfermos y se dejaron en el suelo cuidadosamente para evitar que los hongos se dispersen en el ensayo. Se aplicó *Trichoderma harzianum* como un biocontrolador, en una dosis de 90 gr (10⁹ UFC) para todo el ensayo al inicio de la investigación.

Variables fisiológicas

Se evaluó el intercambio gaseoso: A (mmol CO₂ m⁻² s⁻¹), tasa de transpiración (E; mmol H₂O m⁻² s⁻¹), conductancia estomática (g; mmol H₂O m⁻² s⁻¹), concentración intercelular de CO₂ (C_i; mmol mol⁻¹) y

eficiencia de uso de agua ($EUA = A/E$; $\text{mmol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$), para ello se utilizó un analizador infrarrojo de gases portátil modelo CIRAS 2 (PP Systems, Hitchin, RU). Todas las medidas se realizaron en hojas adultas completamente expandidas y sanas de 6 árboles individuales de cada clon de cacao, escogidos al azar en la región central de cada parcela ($n=6$), bajo las siguientes condiciones: concentraciones de CO_2 ambiental (C_a) 410 ± 10 ppm, a 21% de O_2 , temperatura $28 \pm 1,3^\circ\text{C}$, densidad de flujo fotónico saturante (DFF) $1000 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un gradiente vapor de agua hoja-aire (VPD) $13,6 \pm 0,73$ mbares. El intercambio gaseoso se realizó entre 8:00 am y 12 pm.

Actividad fotoquímica del PSII

Las medidas de fluorescencia de la clorofila a del PSII se realizaron con un fluorímetro portátil (PAM 2100, WALZ, Alemania) en hojas adultas completamente expandidas, en 6 árboles ($n=6$) seleccionados al azar en cada clon. En hojas adaptadas a una DFF de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, se determinaron las medidas instantáneas de la fluorescencia mínima (F'_o), fluorescencia máxima (F'_m) y fluorescencia estable (F) siguiendo el protocolo establecido por Genty et al. (1989). Se estimaron los siguientes parámetros: Eficiencia cuántica relativa del PSII: $\Phi_{\text{PSII}} = (F'_m - F) / F'_m$, Coeficiente de extinción fotoquímica: $qP = (F'_m - F) / (F'_m - F'_o)$, Coeficiente de extinción no fotoquímica: $qN = 1 - (F'_m - F'_o) / (F_m - F_o)$, donde F_o y F_m son los valores de fluorescencias mínimos y máximos medidos en hojas adaptadas en oscuridad. El transporte total de electrones (J) se calculó según: $J = \Phi_{\text{PSII}} \times \text{DFF} \times a \times f$ ($\mu\text{mol e}^- \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), donde a es la fracción de DFF absorbida por la hoja (considerada como 0,84) y f es la proporción de e^- que es absorbida por el PSII (0,5 considerando que ambos fotosistemas están involucrados de igual manera en el transporte lineal de e^-).

Variables agronómicas evaluadas

Se evaluaron cada 15 días las variables productivas y sanitarias, cosechando todos los frutos fisiológicamente maduros, sanos y enfermos de 48 árboles de cada clon (24 árboles en cada repetición), ubicados en la región central de cada parcela, eliminando el efecto de borde). Las almendras adquiridas se pesaron para obtener la producción total del árbol (Kg/ha y qq/ha). Se contabilizó frutos sanos, frutos con moniliasis y otras enfermedades en cada árbol, de cada tratamiento. Para el rendimiento de cacao (peso húmedo y seco) se registró en cada uno de los árboles de parcela, procediendo a extraer y pesar las almendras durante la cosecha (cada quince días). Este peso fresco se transformó a peso seco multiplicando por el factor de conversión 0,4 (relación de peso fresco y seco).

Incidencia de mazorcas enfermas (% ME): esta variable se registró considerando solo mazorcas afectadas por monilla de cada árbol, en los tratamientos mediante la siguiente fórmula (1):

$$\% \text{ ME} = [\text{Número de frutos con síntomas (Protuberancias, manchas, esporulados y momificados)} / \text{Número de frutos totales evaluados (sanos + enfermos)}] * 100$$

[1]

Análisis estadístico

Se utilizó el paquete estadístico Statistica 10 para realizar el análisis de varianza (ANAVA) de una vía, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Las gráficas y regresiones lineales se realizaron con Sigmaplot 11 (Systat Software, Inc., San José, CA). Las regresiones fueron probadas para significancia a $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intercambio gaseoso

La A , g_s y EUA mostraron diferencias significativas entre clones ($p < 0,05$). Los clones PMA12, T8 e INIAP 484 mostraron los mayores A y EUA, mientras que el clon CCN 51 mostró las menores A y EUA (Figura 1). La g_s en T1 y PMA12 fue de $149 \pm 19 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y de $300 \pm 35 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en T16 y CCN 51. Por el contrario, la E ($2,54 \pm 0,14 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y la C_i ($290 \pm 8 \mu\text{mol mol}^{-1}$) no mostraron diferencias significativas entre los clones.

Los valores de A , g_s , E y EUA observados en 10 clones de cacao nacional en San Agustín, son similares a los valores reportados para clones de cacao nacional cultivados en Pichilingue (Jaimez et al., 2018), PMA 12 y CCN 51 evaluados en Quinindé y San Agustín (Tezara et al., 2016) y en clones de cacao nacional evaluados en Eloy Alfaro (Tezara et al., 2017).

Las A y g_s , fueron altas en comparación con las previamente reportados en cacao forasteros y criollos en la literatura (Daymond et al., 2011; Acheampong et al., 2013; Ávila-Lovera et al., 2016; Tezara et al., 2016, 2020).

Los resultados confirman lo reportado por Tezara et al., (2017) y Jaimez et al., (2018), donde la A y g_s de cacaos ecuatorianos son mayores a los valores reportados en cacao forasteros y criollos cultivados en diferentes condiciones de crecimiento; sugiriendo que el cacao Ecuatoriano tiene mayores tasa de A producto de mayores g_s .

Actividad fotoquímica

La actividad fotoquímica del fotosistema II mostró diferencias significativas entre clones en los siguientes parámetros Φ_{PSII} y J . Los clones con mayores Φ_{PSII} y J fueron el T24 y T8, respectivamente; mientras que los menores valores se observaron en el clon T13 (Figura 2).

La actividad fotoquímica del fotosistema II, mostró valores de Φ_{PSII} , J , q_p y q_N similares a los reportados previamente en cacaos ecuatorianos (Tezara et al., 2015, 2017; Jaimez et al., 2018).

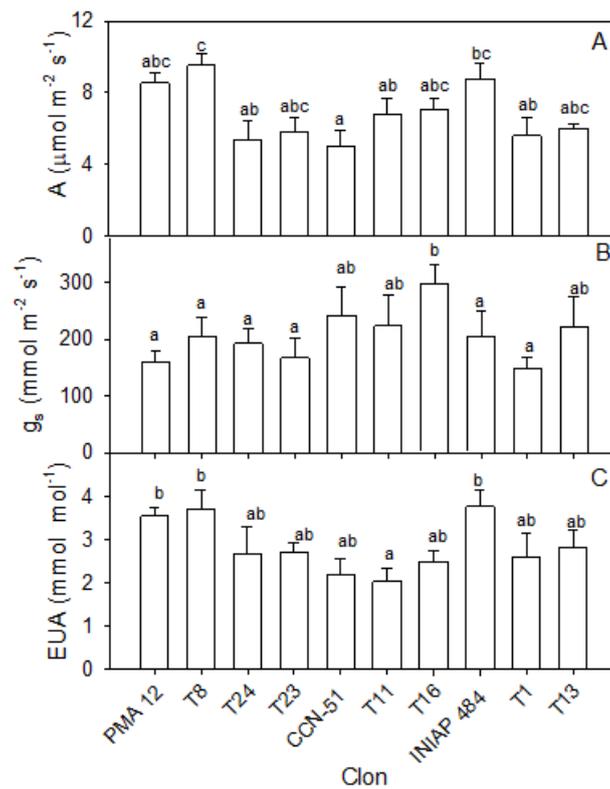


FIGURA 1. Intercambio gaseoso de 10 clones de cacao nacional. A. Tasa de Fotosíntesis, B. Conductancia estomática, C. Eficiencia de uso de agua. Letras diferentes indican diferencias significativas entre clones ($p < 0,05$).

Los clones con mayores Φ_{PSII} y J fueron el T24, T8, T1 y PMA 12, respectivamente; sugiriendo una mayor actividad fotoquímica y por tanto mejor uso de la luz en estos clones; mientras que los menores valores de actividad fotoquímica (menos eficientes usando la luz) se observaron en el clon T13.

Mayores valores de J , Φ_{PSII} y q_p en cacao nacional que en cacaos criollos indican una mayor actividad fotoquímica potencial, y una menor cantidad de energía disipada en forma de calor (q_N) (Tezara et al., 2015). Similares resultados han sido reportado previamente en cacao en la provincia de Esmeraldas donde se encontró aclimatación del aparato fotoquímico; lo cual podría permitir al cacao nacional se ajuste a las diferentes condiciones lumínicas de Ecuador (Tezara et al., 2015, 2016, 2017; Jaimez et al., 2018).

Tradicionalmente, el cacao se ha considerado una especie tolerante a la sombra; sin embargo, bajo las condiciones climáticas características de las zonas de la costa ecuatoriana donde la permanencia de una alta nubosidad durante la mayor parte del año (Ambiente de baja DFF, alta humedad relativa y bajo gradiente de vapor de H_2O hoja-aire), ha permitido que se logren establecer con éxito el cacao a plena exposición, aunque el cultivo requiera de una mayor fertilización (Tezara et al., 2017; Jaimez et al., 2018).

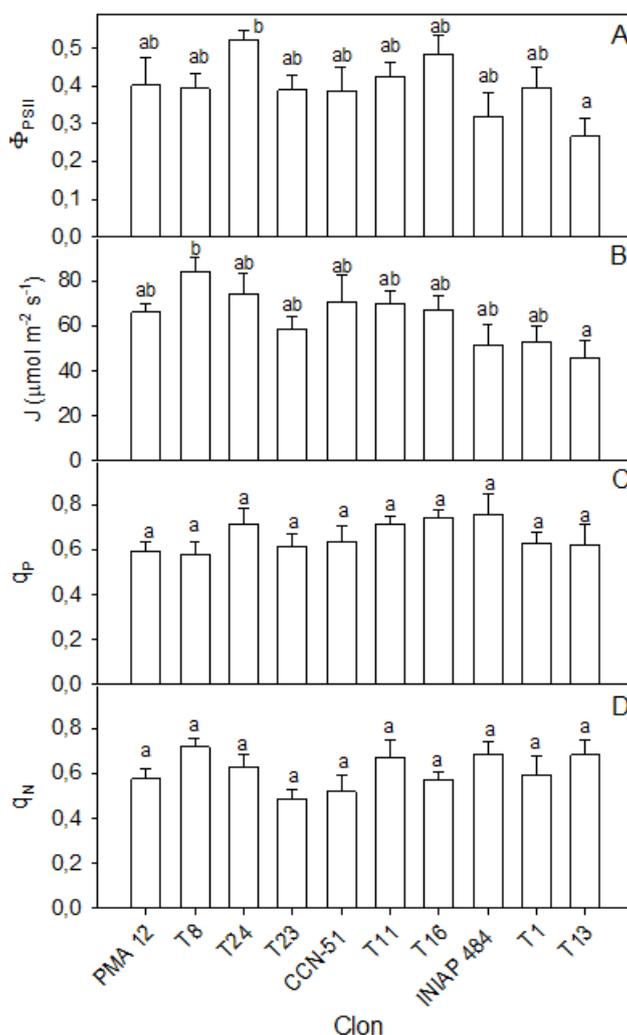


FIGURA 2. Actividad fotoquímica del PSII de 10 clones de cacao nacional. A. eficiencia cuántica del PSII, B. Transporte de electrones, C. coeficiente de extinción fotoquímica, y D. Coeficiente de extinción no fotoquímica. Letras diferentes indican diferencias significativas entre clones ($p < 0,05$).

Este cultivo tiene la capacidad de crecer a altas DFF, la evaluación en el balance entre la captura de luz y en la disipación de energía del exceso de luz; al igual que el desempeño del intercambio gaseoso foliar del cacao élite ecuatoriano, podría ser una importante estrategia para mejorar la producción de este tipo de cacao basándose en un manejo agrícola adecuado, trayendo mayores beneficios a los productores del país (Tezara et al., 2016).

Apoyando lo previamente reportado, los caracteres morfológicos, fisiológicos y de productividad de los clones de cacao ecuatoriano, pueden aclimatarse a condiciones de plena exposición solar (Tezara et al., 2015, 2017; Jaimez et al., 2018).

La mayor A se asoció a mayores g_s y J. A altas DFF, se encontró una mayor cantidad de energía canalizada a eventos fotoquímicos (altos q_p), y valores relativamente bajos de q_N , lo que sugiere un sistema de disipación de energía eficiente.

Variables de producción

Se puede observar una pequeña producción (30-194 mazorcas sanas) durante los meses marzo-abril y un pico de máxima en el mes de septiembre, siendo los clones T11, T8 y T1 los que mostraron la mayor producción de mazorcas sanas, mientras que los clones menos productivos fueron T23, INIAP 484 y T13, respectivamente (Figura 3A).

En cuanto a la producción de mazorcas enfermas se puede notar que en septiembre se separan claramente tres grupos, uno con alta producción (Susceptibles a enfermedades como son los clones T23, INIAP 484 y T13), un grupo resistente (Con menor producción de mazorcas enfermas, mostrados por los clones PMA 12 y T11) y un grupo intermedio en susceptibilidad por los clones restantes (Figura 3B).

Los resultados obtenidos, en la producción de mazorcas sanas y por tanto con mayor rendimiento de almendras seca por hectárea, coinciden con obtenidos en los mismos clones en San Agustín en arboles dos años más jóvenes (Cortez, 2017).

La producción de mazorcas sanas mostró diferencias entre clones independientemente del tiempo. Los clones con mayor producción de mazorca sanas fueron T11, T8 y T1; mientras que los que mostraron menor número de mazorcas sanas fueron los clones T23, INIAP 484 y T13 respectivamente, similar a lo reportado previamente por Cortez (2017).

Los clones con mayor producción de mazorcas enfermas fueron T23, INIAP 484, y T24; a diferencia de los clones CCN51 y T1 con mayor cantidad mazorcas enfermas encontradas por Cortez (2017); mientras que los que mostraron menor número de mazorcas enfermas fueron los clones T8, PMA 12 y T11 respectivamente, similares resultados fueron reportados (Cortez, 2017). Notándose que en el experimento existen materiales muy productivos pero sensibles a monilla.

Los clones más susceptibles y por tanto con mayor índice de mazorcas enfermas (% ME, 50-60 %) fueron T23, INIAP 484, T24 y T13. Por el contrario los menos susceptibles y que mostraron menor % ME (5-27%) fueron T11, PMA 12, T8 y T1 (Cuadro 1).

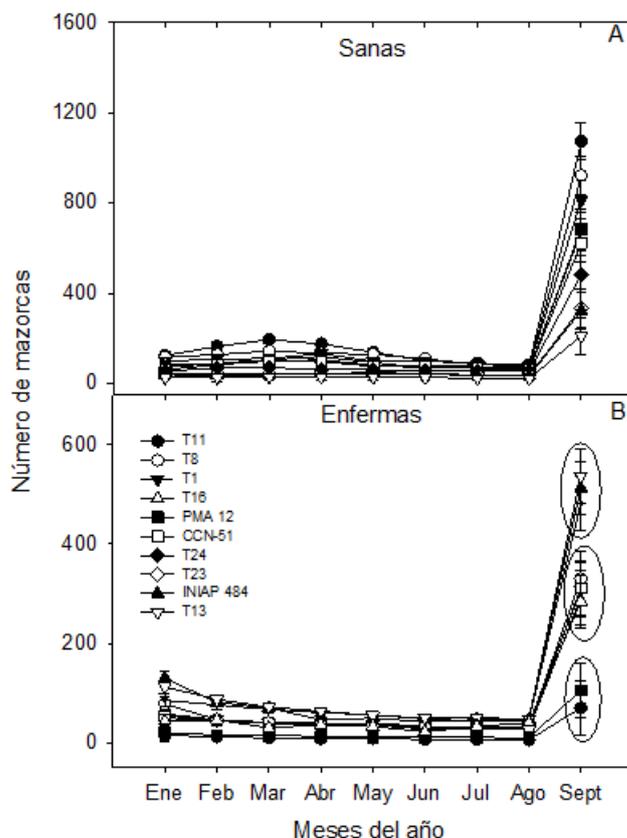


FIGURA 5.

A. Producción de mazorcas sanas y B. mazorcas enfermas para los 10 clones de cacao estudiados durante 9 meses.

Los clones INIAP 484, T23, T13 y T24 fueron los más susceptibles a enfermedades; mientras que los clones tolerantes (T11, PMA 12, T8 y T1), y la mejor selección para ser cultivados en el área de estudio.

La producción de cacao seco, extrapolada a una densidad de 833 árboles por hectárea; mostraron diferencias estadísticas significativas entre los clones (Figura 4). Se observaron cuatro grupos bien diferenciados: en primer lugar el clon T8, seguido de los clones T1 y T11; un tercer grupo formado por los clones PMA 12, CCN 51, T16, T24, T23 e INIAP 484 y por último el clon T13 (263,02 kg/ha; 5,84 qq/ha) (Cuadro 1; Figura 4).

CUADRO 1.

Número de mazorcas totales, porcentaje de mazorca enfermas y producción de cacao seco, expresados como kilogramos de peso seco por hectárea y en quintales /ha.

Clones	Total	%ME	(Kg/ha)	(qq/ha)
INIAP 484	1672	61,3	583,9	12,9
CCN 51	1905	34,6	1296,4	28,8
PMA 12	1589	13,3	1339,2	29,8
T11	2287	6,1	1490,4	33,1
T8	2428	24,1	2560,1	56,9
T24	1933	49,8	1010,0	22,4
T23	1696	60,4	698,7	15,5
T16	1973	31,5	1219,2	27,1
T1	2246	27,5	1696,2	37,7
T13	988	57,4	263,02	5,84

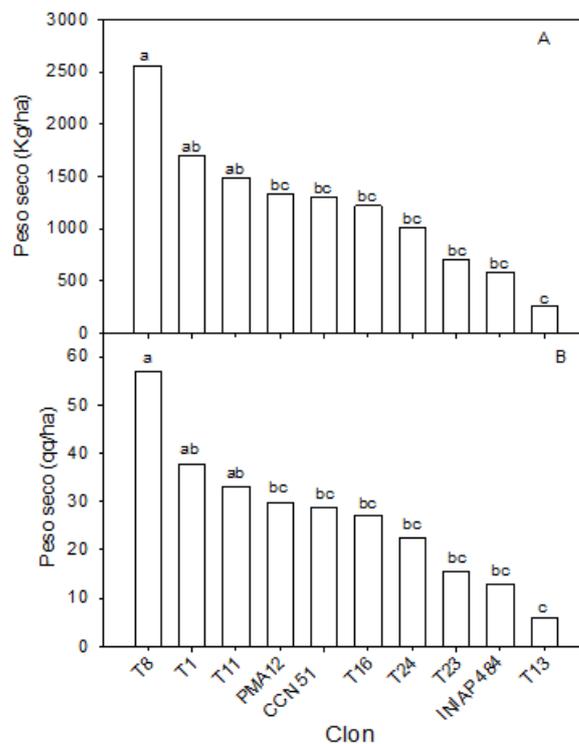


FIGURA 4.

Producción de cacao: A. Kilógramo peso seco por hectárea y B. quintales por hectárea en 10 clones de cacao.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre clones ($p < 0,05$).

El rendimiento de cacao seco por ha fue mayor en los clones T8, T1, T11 con valores entre 2560-1490 kg/ha, mientras que los clones T23, INIAP 484 y T13 mostraron un bajo rendimiento: 699 y 584, 263 kg/ha, respectivamente. Estos resultados indican que no todos los clones de cacao nacionales tienen un alto potencial productivo en el norte de Esmeraldas.

Los resultados indican que hay clones con un alto desempeño fotosintético, con un menor índice de mazorcas enfermas y mayor producción (T8, T1, T11 y PMA 12); que pueden ser recomendados para la zona del Norte de Esmeraldas. Mientras que los clones (T13, INIAP 484, T23 y T24), muestran una baja capacidad fotoquímica, baja producción y son susceptibles a enfermedades por lo que no se recomiendan para esta área de estudio.

Los datos de producción obtenidos en esta investigación son muy superiores a los reportados en el mismo ensayo en árboles dos años más jóvenes (Cortez, 2017); quien indicó que sus resultados fueron producto de las primeras evaluaciones tomando en cuenta que esta plantación tenía cuatro años de establecida para el momento de su evaluación. Sin embargo, la repuesta productiva de los clones fue similar a la encontrada en este estudio (Clones T8, T1 y T11 muy productivos, mientras que T23, INIAP 484 y T13 mostraron una baja producción).

Relación, variables fisiológicas y rendimiento

Se observó una baja correlación entre la producción de cacao seco expresada en kg/ha y la tasa neta de fotosíntesis (A) medida con sistema de intercambio gaseoso ($r=0,37$; $p=0,23$). Esta falta de correlación podría explicarse a que la A es un valor puntual e instantáneo, que presenta limitaciones estomáticas. No todo el CO_2 asimilado por fotosíntesis es trasladado únicamente a la producción de mazorcas, parte de los fotosimilados son utilizados en procesos metabólicos, desarrollos y crecimiento de otros órganos de la planta (producción de hojas, crecimiento floración, fructificación, entre otros).

Por el contrario, se observó una alta correlación entre la producción de cacao seco expresada en kg/ha y la tasa neta del transporte de electrones (J) ($r=0,74$) y la tasa de fotosíntesis potencial máxima, calculada como (J/10) suponiendo que se necesitan al menos 10 electrones por mol CO_2 asimilado, y que todos los electrones transportados a través del PSII se van hacia la fotosíntesis (Figura 5).

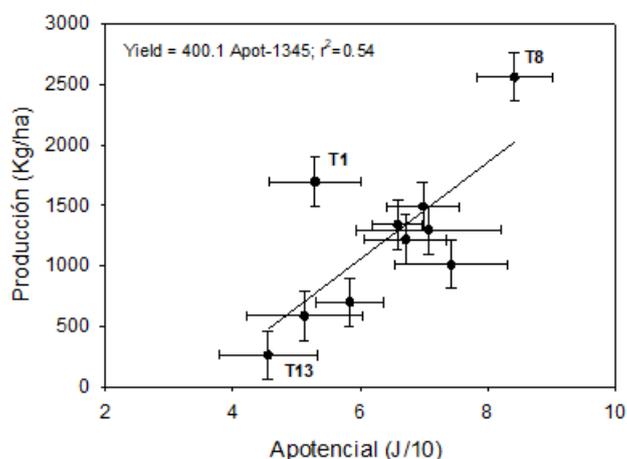


FIGURA 5.

Relación lineal entre la producción de cacao seco y la fotosíntesis potencial (J/10); medidas en los 10 clones de cacao estudiados.

Se muestra la ecuación de regresión lineal y el coeficiente de determinación, significativos a $p < 0,05$.

Una relación lineal significativa entre la producción de cacao y fotosíntesis potencial, sugiere que con valores de J podría ser una medida rápida y sencilla, para estimar el rendimiento de cacao de los 10 clones de cacao estudiados en la zona de san Agustín. Sin embargo, esto representa una primera evidencia, que podría ser circunstancial. Es importante una mayor cantidad de estudios en esta dirección para alcanzar conclusiones definitivas. Se sugiere continuar investigaciones donde se realicen: balances de carbono diurnos, actividad fotoquímica y eficiencia de uso de agua a largo plazo, así como variables microclimáticas y sus variaciones estacionales y a través de análisis multivariados se logre encontrar una relación más robusta entre las variables fisiológicas y el rendimiento en cacao.

CONCLUSIONES

Los clones de cacao evaluados presentaron plasticidad fotosintética y productiva aun cuando crecen en las mismas condiciones agroecológicas. Los mayores valores de A y J se observaron en los clones (PMA 12, T8, INIAP 484 y T11).

Una mayor capacidad fotosintética podría explicar parcialmente el mayor rendimiento que se obtiene en estos clones de cacao del Ecuador. La mayor A se asoció a mayores g_s y J.

Las mayores tasas de fotosíntesis potenciales (J/10), producto de una mayor actividad fotoquímica en los clones de cacao ecuatoriano (T8, T1 y T11), contribuiría con una mayor cantidad de carbohidratos, que podrían explicar parcialmente una mayor producción en estos clones.

LITERATURA CITADA

- Acheampong, K; Hadley, P. and Daymond A.J. 2013. Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions. *Experimental Agriculture* 49:31–42.
- Alverson, W. S.; Whitlock, B. A.; Nyffeler, R.; Bayer, C.; Baum, D. A. 1999. Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data. *Am. J. Bot.* 86:1474–1486.
- Ávila-Lovera, E.; Coronel, I.; Jaimez, R.; Urich, R.; Pereyra, G.; Araque, O.; Chacón, I.; Tezara, W. 2016. Ecophysiological traits of adult trees of Criollo cocoa cultivars (*Theobroma cacao* L.) from a germplasm bank in Venezuela. *Experimental Agriculture* 52:137–153.
- Baligar, V.; Bunce J.; Machado, R.; Elson, M. 2008. Photosynthetic photon flux density carbon, dioxide concentration and vapor pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. *Photosynthetica* 46:216–221.
- Cortez, J.L. 2017. Evaluación del comportamiento agronómico de 10 clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.), de selecciones avanzadas en el cantón Eloy Alfaro. Universidad Luis Vargas Torres. (F. Agronomía). Trabajo Especial de Grado.
- Daymond, A.; Tricker, P.J.; Hadley, P. 2011. Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia Plantarum* 55:99–104.
- De Almeida, J.; Herrera, A.; Tezara W. 2018. Phenotypic plasticity to photon flux density of physiological, anatomical and growth traits in a modern Criollo cocoa clone. *Physiologia Plantarum* 166(3):821–832.
- Genty, B.; Briantais, J.; Baker, N. 1989. The relationships between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica* 990:87-92.
- INAMHI (Instituto nacional de Meteorología en Hidrología) 2019. Información datos meteorólogos [Fecha de consulta: septiembre 2019]. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/informacion-en-linea>.
- ICCO (International Cocoa Organization). 2019. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, year 2017/18. [Fecha de consulta: 10 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/30-related-documents/46-statistics-production.html.
- Jaimez, R.; Amores, F.; Vasco, A.; Loor, R.; Tarqui, O.; Quijano, G.; Jiménez, J.; Tezara, W. 2018. Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta biológica Colombiana* 23(1): 95–103.
- Krause, G. H. and Weis, E. 1991. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42(1): 313-349.
- Loor, R. y F. Amores. 2003. Explorando la variabilidad del cacao tipo Nacional para identificar clones elite. *Revista Sabor Arriba* 2(4): 18–19.
- Motamayor, J.; Lachenaud, P.; Wallace, J.; Loor, R.; Kuhn, D.; Steven, J.; Schnell, R. 2008. Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L.). *PLoS ONE* 3(10): e3311.

- Motamayor, J.; Risterucci, A.; Lopez, P.; Ortíz, C.; Moreno, A.; Lanaud, C. 2002. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89: 380-385.
- Sánchez Mora, F.D. y Garcés Fiallos, F.R. 2012. *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al. En el cultivo de cacao. *Scientia Agropecuaria*, 3(3).
- Tezara, W.; De Almeida, J.; Valencia, E.; Cortes, J.; Bolaños, M. 2015. Actividad fotoquímica de clones élites de cacao (*Theobroma cacao* L.) ecuatoriano en el Norte de la Provincia Esmeraldas. *Investigación y Saberes IV* 3: 37-52.
- Tezara, W.; Herrera, A.; De Almeida, J.; Bolaños, M.; Reynel, V. 2016. Respuestas ecofisiológicas y productiva del cacao venezolano y ecuatoriano al estrés. *Memorias del Instituto de Biología Experimental* 8: 121-124.
- Tezara, W. 2017. Características ecofisiológica y productivas del café y cacao En: *Bases Agronómicas, Fisiológicas y Tecnológicas del café y cacao*. Eds: W Tezara & E Escalante. Pg 12-27 ISBN: 978-9942-8657-6-2. Editorial CIDE, Ecuador.
- Tezara, W.; De Almeida, J.; Bolaños, M; Reynel V. 2017. Capacidad fotosintética del cacao: Ecuatorianos vs Venezolanos. *Memorias Convención Internacional agroforestal*. Pg 956-962. ISBN 978-859-7215-29-5.
- Tezara W.; Pereyra, G.; Ávila-Lovera, E.; Herrera A. 2020. Variability in physiological responses of venezuelan cacao to drought. *Experimental Agriculture* 56: 407–421. doi:10.1017/S0014479720000058.
- Wang K. and Kellomäki, S. 1997. Effects of elevated CO₂ and soil-nitrogen supply on chlorophyll fluorescence and gas exchange in Scots pine, based on a branch-in-bag experiment. *New Phytologist*. 136(2): 277-286.
- Zhang, D.; Boccarda, M.; Motilal, L.; Mischke, S.; Johnson, E.S.; Butler, D.R.; Bailey, B.; Meinhardt, L. 2009. Molecular characterization of an earliest cacao (*Theobroma cacao* L.) collection from Upper Amazon using microsatellite DNA markers. *Tree Genet. Genomes* 5(4): 595 – 60.