

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2024,
Volumen 8, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2

PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DE GENOTIPOS DE COFFEA ARABICA EVALUADOS CON ALTO DÉFICIT DE VAPOR DE AGUA

**PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF COFFEA ARABICA
GENOTYPES EVALUATED WITH HIGH WATER VAPOR
DEFICIT**

Milton José Bolaños Ortega

Universidad Técnica de Manabí, Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas,
Ecuador

Wilmer Tezara Fernández

Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Ecuador

George Cedeño García

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.11087

Parámetros Fisiológicos de Genotipos de *Coffea Arabica* Evaluados con Alto Déficit de Vapor de Agua

Milton José Bolaños Ortega¹ingmiltonbolanos@gmail.com<https://orcid.org/0000-0001-5747-634X>

Universidad Técnica de Manabí

Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de

Esmeraldas

Ecuador

Wilmer Tezara Fernándezwtezara@gmail.com<https://orcid.org/0000-0002-2666-0571>

Universidad Técnica “Luis Vargas Torres”

de Esmeraldas

Ecuador

George Cedeño Garcíageorge160687@hotmail.com<https://orcid.org/0000-0001-8271-5752>

Universidad Técnica de Manabí

Ecuador

RESUMEN

El cambio estacional del clima en el Ecuador, presenta un periodo de lluvias y alta temperatura y un periodo de sequía y frío, esta etapa causa el déficit hídrico estacional con un impacto negativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de alteraciones morfo-fisiológicas. Esta investigación se centró en evaluar los cambios estacionales en el intercambio gaseoso (tasa de fotosíntesis neta (A); conductancia estomática (g_s), transpiración (E) eficiencia de uso de agua (EUA) y las relaciones hídricas (potencial hídrico foliar al amanecer (\square_{am}), al medio día (\square_{pm}) y conductancia hidráulica, K_L) de diez genotipos de *Coffea arabica* L. El intercambio gaseoso se evaluó con un alto déficit de presión de vapor (DPV) de $3,0 \pm 0,01$ KPa, simulando un posible escenario del cambio climático global. Se encontraron diferencias significativas en A, E, g_s , EUA, \square_{am} , \square_{pm} y K_L entre los genotipos de café, los meses de evaluación y la interacción entre genotipos \times meses. Estos hallazgos sugieren que los genotipos de café responden de manera distinta a la sequía. Se identificaron genotipos de las variedades Arara 11 y Geisha ECU que podrían tener mecanismos fisiológicos para tolerar la sequía estacional en el contexto del cambio climático.

Palabras clave: Potencial hídrico, cambio climático, Ecofisiología, sequía, café

¹ Autor principal.

Correspondencia: ingmiltonbolanos@gmail.com

Physiological Parameters of *Coffea Arabica* Genotypes Evaluated with High Water Vapor Deficit

ABSTRACT

The seasonal change of climate in Ecuador, presents a period of rain and high temperature and a period of drought and cold, this stage causes seasonal water deficit with a negative impact on plant growth and development through morpho-physiological alterations. This research focused on evaluating seasonal changes in gas exchange (net photosynthetic rate (A); stomatal conductance (g_s), transpiration (E) water use efficiency (EUA) and water relations (leaf water potential at dawn (\square_{am}) and midday (\square_{pm}) and hydraulic conductance, K_L) of ten *Coffea arabica* L. genotypes. Gas exchange was evaluated with a high vapor pressure deficit (DPV) of 3.1 ± 0.02 KPa, simulating a possible scenario of global climate change. Significant differences in A , E , g_s , EUA, \square_{am} , \square_{pm} and K_L were found among coffee genotypes, evaluation months and genotype x month interaction. These findings suggest that coffee genotypes respond differently to drought. Genotypes of Arara 11 and Geisha ECU varieties were identified that may have physiological mechanisms to tolerate seasonal drought in the context of climate change.

Keywords: *Water potential, climate change, Ecophysiology, drought, coffee*

Artículo recibido 06 marzo 2024

Aceptado para publicación: 09 abril 2024



INTRODUCCIÓN

La agricultura es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático a nivel mundial, ya que es altamente sensible a los cambios de temperatura y a los regímenes de precipitación. Los modelos climáticos prevén cambios drásticos en temperatura, precipitación e incremento en la frecuencia y severidad de eventos extremos como sequías en muchas regiones de mundo; se espera un leve incremento en la productividad de los cultivos en las latitudes medias y altas, y una reducción de la productividad en latitudes bajas, especialmente las regiones tropicales y con sequía estacional (Viguera et al., 2017).

El cambio climático amenaza directamente la sostenibilidad de la agricultura, ya que las plantas necesitan condiciones adecuadas para expresar su potencial productivo en cantidad y calidad (Tozzi & Ghini, 2016); sin embargo, se ha investigado poco para comprender su impacto en cultivos arbóreos tropicales (Lahive et al., 2021, Ceccarelli et al., 2021).

El cultivo de café es sensible a las condiciones climáticas adversas, siendo las altas temperaturas y la sequía las que más afectan gravemente el crecimiento, el desarrollo y la productividad y su ocurrencia conjunta tiende a agravar los impactos negativos (Semedo et al., 2018; DaMatta et al., 2018; 2019; Pérez-Molina et al., 2019). El *Coffea arabica* requiere temperaturas entre 18 y 22 °C; precipitaciones entre 1.400 a 1.700 mm anuales; de lo contrario, su productividad es afectada (Gil Mora, 2019).

El café es muy afectado a los cambios del clima, por lo que se espera que el cambio climático global tenga impactos significativos en el cultivo, incluyendo efectos en la fisiología de las plantas, la aptitud de la tierra y la productividad, entre otros. Estos impactos serán diferentes en función de la especie de café (arábica o robusta), la variedad, las características ambientales del lugar de cultivo y del manejo que se le dé (Viguera et al., 2017; Guedes et al., 2018).

El *C. arabica* es más susceptible a los factores climáticos que el café robusta (*Coffea canephora*) y, por lo tanto, se espera que se vea más afectado por el cambio climático. Esto se debe a que el *C. arabica* se cultiva en condiciones climáticas y biofísicas específicas, junto con una diversidad genética limitada (Bunn et al., 2018; Bunn et al., 2015; Adhikari et al., 2020).

Las condiciones ambientales, como la densidad de flujo fotónico (DFF), temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo, pueden modificar algunas características foliares del cafeto, incluyendo el tamaño, la densidad y el índice estomático. Estos ajustes permiten un mejor desarrollo de la planta (Melo et al., 2014; Da Gama et al., 2017), con implicaciones para los procesos fotosintéticos y pérdida de agua por transpiración, E (DaMatta et al., 2019).

Los estudios sobre la fisiología del café en Ecuador son limitados, en las dos especies de café que se siembra en los diferentes ecosistemas del país, existen estudios aspectos fisiológicos de *C. canephora* en Esmeraldas (Tezara et al., 2020); y efecto del déficit hídrico sobre el intercambio gaseoso en árboles de *C. arábigo* e híbridos interespecíficos de café en la provincia de Manabí y en Esmeraldas (Loyaga, 2018; Tezara et al., 2022; 2018).

Estudiar las condiciones fisiológicas de *C. arábigo*, bajo condiciones no adecuadas exigidas para esta especie, permitiría conocer la “variabilidad fisiológica” que es una medida de la tendencia de los genotipos de una población a diferenciarse (Biodiversidad, 2020). Se planteo la hipótesis de que la variación estacional del periodo lluvioso y sequía, tendría un efecto negativo en el desempeño fisiológico de los diferentes genotipos de café arábigo cultivados en una zona agroecológica no apta para este cultivo.

METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el banco de germoplasma de café en el Campus “Mutile” de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, ubicada en las coordenadas UTM 17N653803,1 - 10098953,5 a una altitud de 20 msnm y comprendió un periodo de 6 meses: lluvias (julio – Septiembre 2022) y sequía (octubre - diciembre 2022). Las características climáticas de la localidad fueron: 86% de HR, 560 mm de precipitación anual, 25,6 °C de temperatura promedio, topografía plana (GADP, 2019),

Los genotipos de café arábigo y su procedencia genética, utilizados en la investigación se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Nombre y origen genético de los 10 genotipos de *C. arábica* del banco de germoplasma de café en el campus “Mutile”

Nombre	Origen Genético
Catimor 8664 (2.3)	Línea selecta del CATIE
Cavimor H773	Híbrido Catuaí × Catimor CIFC
Catimor CIFC P2	Mezcla de semillas F5 Caturra × H. Timor de la progenie 7961
Acawa rojo	Mundo nuevo IAC 388-17 × Sarchimor IAC 1668
Acawa amarillo	Mundo nuevo IAC 388-17 × Sarchimor IAC 1668
Geisha ECU	Árabe puro de Etiopía T-2722
Arara 11	Obatá Amarillo × Catuaí Crossing (Obatá: Sarchimor 1660-20)
Catimor CIFC P3	Mezcla de semillas F5 Caturra × H. Timor de la progenie CIFC 7962
Catimor UFV 5608	Línea de selección U5608 UFV
Catimor UFV 5607	Línea de selección U5607 UFV

Variables Microclimáticas

La densidad de flujo de fotónico (DFF) se midió con un sensor cuántico (LI-250, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA); la temperatura foliar (Tf) se midió con termistores (YSI 04B0618-409B) conectados a un teletermómetro (Yellow Springs Instruments Co, Texas, EE. UU); estas variables se midieron cada hora entre las 07:00 y las 17:00 h. Adicionalmente, la temperatura del aire (Ta) y la humedad relativa (HR) se midió durante todo el experimento con dos registradores HOBO Pro V2 y los datos se almacenaron en un HOBO Waterproof Computer Corporation, Pocasset, MA, USA.

El contenido de agua del suelo (CAS), se determinó sacando muestras de suelo a 15cm de profundidad, obteniendo el peso húmedo (PH) para luego secarle en una estufa por 72 horas a una temperatura de 110 °C y así poder obtener el peso seco del suelo (PS). Se determinó el CAS mediante la siguiente ecuación: $CAS = (PH - PS)/PH \times 100$.

Variables fisiológicas Todas las variables fisiológicas se realizaron en arboles adultos de 3 años de edad de diez diferentes genotipos (Tabla 1).

Estado Hídrico

El Potencial hídrico (Ψ) se determinó con la cámara de Scholander, estas medidas de Ψ se realizaron al amanecer (Ψ_{am}) y en horas del mediodía (Ψ_{pm}) en brotes terminales de 5 diferentes plantas ($n=5$) de cada genotipo de café.

Conductancia hidráulica

Se cuantificó la conductancia hidráulica de la planta ($K_{suelo-hoja}$) de cada genotipo. Según la siguiente ecuación: Transpiración (E) = $K_{suelo-hoja} \cdot \Delta\Psi$; $K_{suelo-hoja} = E / \Delta\Psi$; donde $\Delta\Psi = (\Psi_{am} - \Psi_{pm})$, según Sack & Scoffoni (2012) y Sack et al., (2002).

Intercambio gaseoso

Las medidas de la tasa de fotosíntesis neta (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), tasa de transpiración (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), conductancia estomática (g_s) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y eficiencia de uso de agua (EUA) (mmol mol^{-1}), se realizaron en hojas adultas intactas completamente expandidas y sanas de ramas plagiotrópicas (tercera hoja desde el ápice) en cinco diferentes individuos de cada genotipo ($n = 5$), con un analizador infrarrojo de gases portátil (CIRAS-II, PP Systems Inc., Amesbury, MA, USA) conectado a un PLC de cámara foliar (B). Todas las mediciones se realizaron bajo las siguientes condiciones: concentración de CO_2 de $410 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, temperatura de la cámara foliar de $30,0 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, alto déficit de presión de vapor de hoja a aire (DPV) (3.0 KPa). Simulando en la cámara de asimilación condiciones de alta DFF ($1200 \pm 20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), proporcionada por una unidad de luz basada en LED del mismo fabricante), altas temperaturas y un alto DPV como consecuencia de una sequía intensa. Las mediciones se realizaron aleatoriamente entre las 08:00 y las 12:00 h en todos los genotipos durante 3 días por mes consecutivos desde julio a diciembre, en épocas de lluvia y sequía, respectivamente.

Análisis estadístico

Los resultados se presentan como media \pm error estándar (ES). Se realizó ANOVA de dos vías utilizando los programas estadísticos Infostat 2022 y Statistica versión 10, para evaluar diferencias significativas en las variables fisiológicas evaluadas entre genotipos, periodo de evaluación y la interacción (genotipos \times periodo), se realizó una prueba post hoc de Tukey

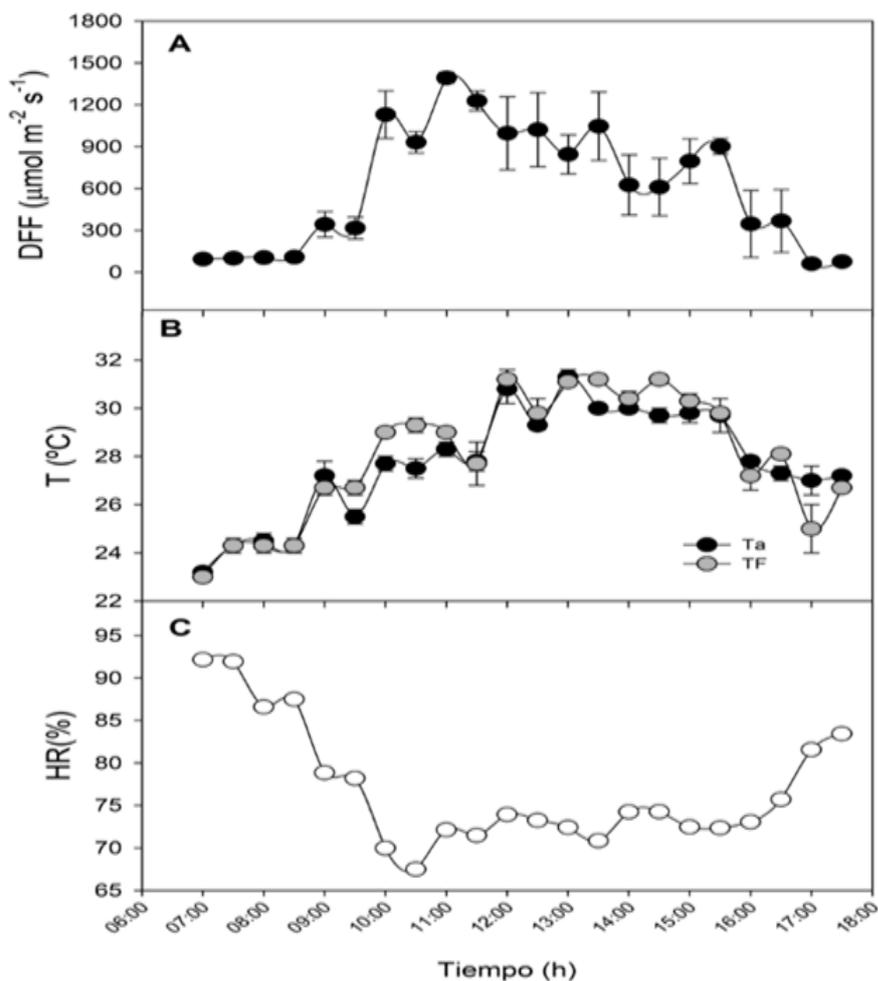
($p < 0,05$). Todos los gráficos se realizaron utilizando SigmaPlot 11 (Systat Software, San José, CA, EE. UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características microclimáticas

Los máximos valores de DFF ($1400 \pm 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) fueron observados a las 11 am, variando en función de la nubosidad presente en esta zona; mientras que la máxima Ta ($31,5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) y Tf ($32 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) se observaron al mediodía de 12 a 16:00 horas. Las Ta mínimas ($23 \text{ }^\circ\text{C}$) y las máximas HR (93 %) se encontraron en horas de la mañana. La mínima HR (66 %) se registró en horas del mediodía (Fig. 1).

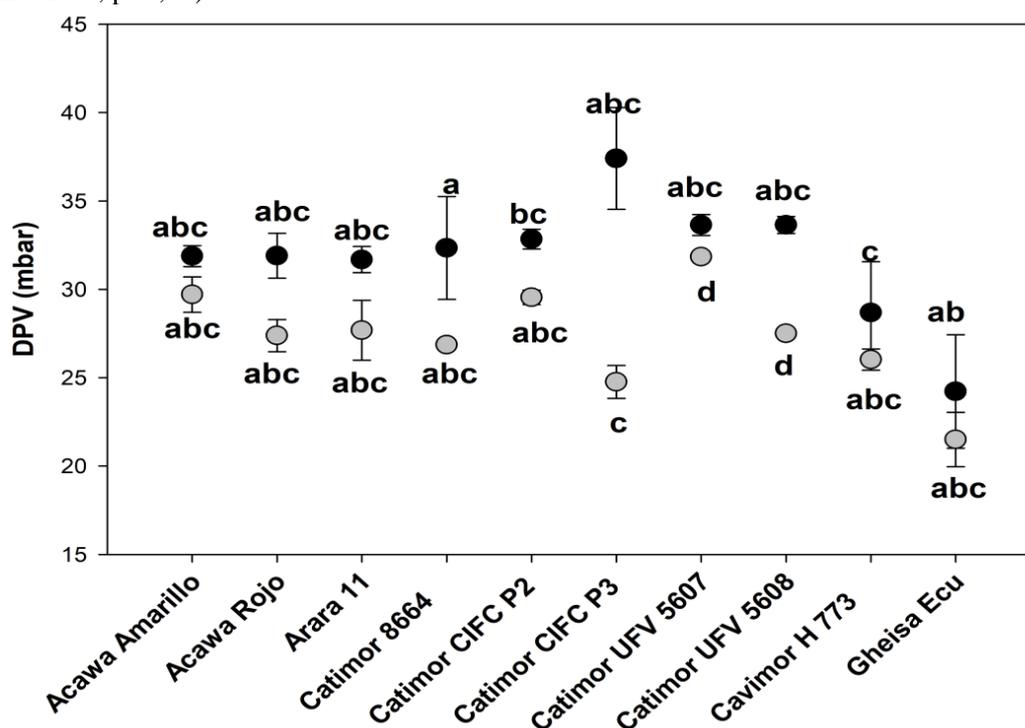
Figura 1. Variables microclimáticas: (A) la densidad de flujo fotónico (DFF) (círculos negros); (B) la temperatura de foliar (T_f) (círculos grises), temperatura del aire (Ta) (círculos negros) y (C) la humedad relativa en (HR%) (círculos blancos). Los valores representan la media \pm error estándar ($n = 10$).



Déficit de Presión de Vapor

Los valores promedio de DPV en el periodo lluvioso fueron (31 ± 2 mbar), se observó el mayor valor de DPV (37 mbar), en Catimor CIFIC P3. Mientras que los menores valores se observaron en Gheisa Ecu (24 mbar) y Catimor H773 (28 mbar). Los valores promedio de DPV en el periodo de sequía fueron (27 ± 7 mbar), se observaron los mayores valores de DPV (32 mbar), en Catimor UFV 5607, Acawa amarillo (29,5 mbar) y Catimor CIFIC P2 (29,5 mbar). Mientras que los menores valores se observaron en Gheisa Ecu con (21 mbar), Catimor CIFIC P3 (25 mbar) y Catimor H773 con (26 mbar) indicando que existió una respuesta diferencial de DPV, en el periodo de lluvia y la sequía dependiendo del genotipo (Fig. 2).

Figura 2. El déficit presión de vapor de agua hoja-aire (DPV) usado para evaluar el intercambio gaseoso en los 10 genotipos de café arábigo evaluados; en plantas cultivadas en el campo, en periodo de lluvias (círculos negros) y en periodo de sequía (círculos grises). Los valores son las medias \pm error estándar ($n = 5$). Letras diferentes en cada valor muestran diferencias significativas, $p < 0,05$.



Los valores de DPV en este estudio fueron más del doble ($1,3 - 1,7 \pm 0,1$ KPa) de los utilizados por Tezara et al. (2018; 2022) en la evaluación del intercambio gaseoso en variedades de *C. arabica* y 15 clones de *Coffea canephora*. La evaluación del intercambio gaseoso en plantas de café con un alto DPV, causó cierre estomático, independientemente del periodo climático, si el

DPV es demasiado alto, las plantas sufrirán deshidratación y no podrán absorber los nutrientes. Situación que pueden dar lugar a un crecimiento de baja calidad y a un retraso en la producción. El café muestra una fuerte sensibilidad estomática al aumento del DPV a medida que avanza el día (DaMatta & Ramalho, 2006).

El CAS en lluvia fue de $21,7 \pm 1,25$ % y se redujo significativamente en un 58,9 % en sequía ($12,8 \pm 1$ %). Similares valores fueron reportados en periodo de lluvia ($25,8 \pm 0,4$) y sequía ($11,2 \pm 0,7$) en un área donde están cultivados 21 genotipos de café arábica en la finca la Esperanza en Solano, Pichincha, Manabí, Ecuador y 10 genotipos de *C. arabica* en condiciones de vivero en Esmeraldas (Tezara et al., 2022; Loyaga, 2018). Evidenciando que efectivamente en el suelo había una menor disponibilidad hídrica durante la sequía causando déficit hídrico en las plantas de café. Se encontraron diferencias altamente significativas entre genotipos, periodos y la interacción (genotipos \times periodo), en la mayoría de las variables fisiológicas evaluadas (\square_{am} , \square_{pm} , A, g, EUA), con la excepción E y K_L (genotipos y la interacción, donde no se observaron diferencias significativas (Tabla 2).

Tabla 2. Se muestra el estadístico *p* de la prueba de Tukey a $p < 0,05$ del análisis de varianza de dos vías: factor 1 (genotipos), factor 2 (periodo de lluvia y sequia) y la interacción (genotipo \times periodo) realizados a todas las variables fisiológicas evaluadas. En rojo se muestran los valores que mostraron diferencias significativas.

Variables evaluadas	Valor <i>p</i>		
	Genotipos	Períodos	Genotipos \times Períodos
\square_{am}	0,00	0,00	0,00
\square_{pm}	0,00	0,00	0,00
K_L	0,29	0,01	0,33
A	0,00	0,00	0,00
E	0,87	0,00	0,94
g _s	0,00	0,00	0,00
EUA	0,04	0,00	0,00

Estado hídrico (\square_{am} y \square_{pm}) de los genotipos de café en los periodos de lluvia

El promedio del \square_{am} en el periodo de lluvias fue de $-0,42 \pm 0,075$ MPa en Arara 11 y Catimor UFV 5607 se observaron los mayores valores ($-0,3$ MPa), Mientras que los menores valores se observaron en Catimor 8664 y Catimor CIFIC P2 ($-0,5$ y $-0,8$ MPa, respectivamente). Hubo una

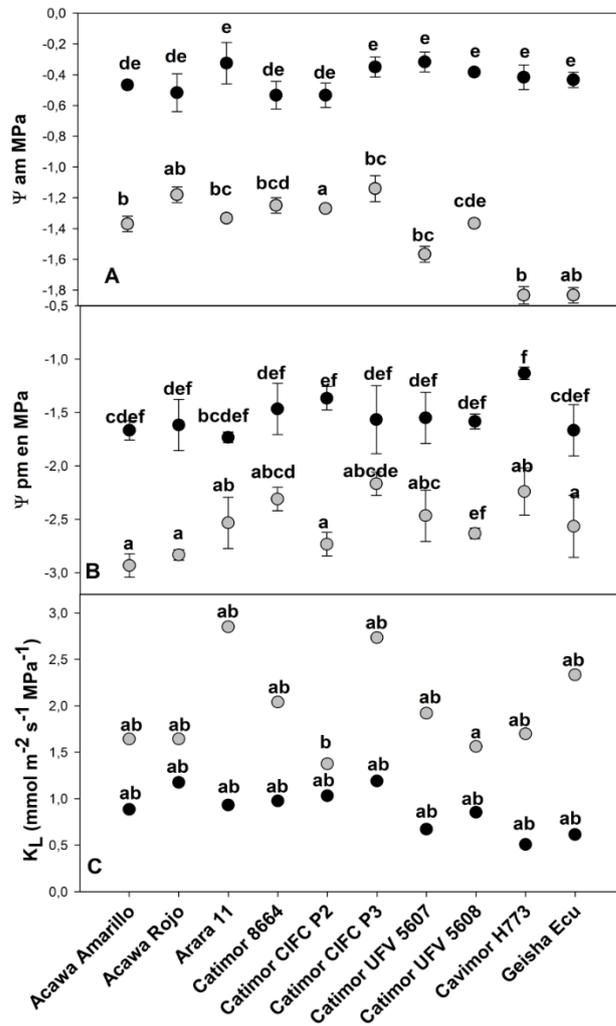
reducción considerable de 3,3 veces en el \square_{am} en sequía. El valor promedio de \square_{am} en el periodo de sequía fue $-1,41 \pm 0,43$ MPa, se observó el mayor valor en Catimor CIFIC P3 (-1,1 MPa). Mientras que los menores valores se observaron en Cavimor H733 y Geisha Ecu (-1,81 MPa), indicando que existió una respuesta diferencial de \square_{am} , a la sequía dependiendo del genotipo. Los genotipos más afectados por la sequía fueron Cavimor H733 y Geisha Ecu (Fig. 3A).

El promedio \square_{pm} en el periodo de lluvias fue de $-1,5 \pm 0,5$ MPa, se observó el mayor valor de \square_{pm} (-1,2 MPa) en Cavimor H773. Mientras que el menor valor se observó en Arara 11 (-1,7 MPa). Los valores promedios de \square_{pm} en el periodo de sequía fue $-2,5 \pm 0,16$ MPa, siendo el mayor valor en Catimor CIFIC P3. Mientras que el menor valor se observó en Catimor 8684 con (-3,2 MPa). Hubo una reducción significativa del \square_{pm} de un 66 % en sequía (Fig. 3B).

Conductancia hidráulica (K_L)

Los mayores valores K_L se observaron en sequía, mostrando valores de $2,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$, Arara 11, el mínimo K_L se observó en Catimor CIFIC P2 ($1,4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$), en comparación con lo observado en el periodo de lluvias, con una mayor K_L ($1,2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$) en Acawa rojo y Catimor CIFIC P3, y el menor ($0,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$) en Cavimor H773 (Fig. 3C).

Figura 3. Cambios estacionales en; A el potencial hídrico al amanecer (ψ_{am}), B. potencial hídrico al mediodía (ψ_{pm}), y C. la conductancia hidráulica (K_L), en brotes de 10 genotipos de café arábigo; en plantas cultivadas en el campo, en lluvia (círculos negros) y en sequía (círculos grises). Los valores son las medias \pm error estándar ($n = 5$). Letras diferentes en cada valor muestran diferencias significativas, $p < 0,05$.



La escasez de precipitaciones durante el periodo de sequía ocasionó una reducción significativa en el estado hídrico foliar, en todas las genotipos de café, producto de una disminución de la disponibilidad de agua aprovechable del suelo, que causó una reducción de ψ foliar, estos resultados coinciden con Ayegboyin & Akinrinde (2016), que mencionan en cacao que el crecimiento de las hojas es uno de los primeros procesos fisiológicos afectados por cambios en el estado hídrico de las plantas bajo sequía. Similares valores de ψ han sido reportado en dos clones de *Coffea canephora* (clon 46, sensible a la sequía; y clon 120 resistente) cultivados en el campo en lluvia y en sequía (DaMatta et al., 2003).



La K_L determina la capacidad de transporte de agua afectando a las relaciones hídricas de la planta así como a la eficiencia de absorción de agua y nutrientes (Rodríguez, 2012); en Brasil en la época de verano, en las plantas de cítricos expuestas al sol se observó un incremento en E (60%) y K_L (61%), en relación con la época de invierno, debido a que las plantas que se desarrollaron en temperaturas más elevadas exigieron una mayor demanda hídrica para su crecimiento y refrigeración (Mariño, 2014). Similar y en el mismo orden de magnitud se encontró en dos clones de *C. canephora*, valores de K_L de 2,98 - 3,83 en lluvia y 0.94 - 1.05 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ en sequía (K_L , calculados con datos de DaMatta et al., 2003). Estudios con *C. arabica* cultivado a la sombra y a plena exposición solar han demostrado que la conductancia hidráulica foliar (K_F) es el principal impedimento para maximizar el intercambio gaseoso en las hojas y su tasa fotosintética. Diversidad de estudios evolutivos en plantas superiores validan la correlación positiva entre la K_F y la fotosíntesis (García López et al., 2018).

La alta variabilidad genética de los genotipos de *C. arabica* explica las diferencias significativas en CRA e intercambio de gases e interacción genotipos x temporada, sugiriendo una respuesta diferencial de cada genotipo a la sequía. Once de los 21 genotipos de café fueron sensibles a la sequía, pero mostraron diferentes respuestas, lo que sugiere posibles diferencias genotípicas en la tolerancia al estrés (Tezara et al., 2022).

Fotosíntesis (A)

En el periodo lluvioso, el café de 3 años edad mostró valores de A (8,3 y 8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en Catimor CIFC P3 y Arara, respectivamente. Mientras que los menores valores se observaron en Acawa rojo y Catimor CIFC P2 (4 y 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). En el periodo de sequía todos los genotipos se vieron fuertemente afectados en la A , encontrándose un incremento en la respiración mitocondrial y fotorrespiración en todos los genotipos, por lo que el balance neto de carbono en esta condición fue negativo (figura 4. A).

El café medido a la concentración de CO_2 atmosférico actual y a luz saturante tiene bajas A , típicamente en entre 4-11 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (DaMatta et al., 2008). Los valores de A promedios reportados en café arábica y conilon fueron de 7,2 y 8,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (DaMatta, 2007), ligeramente superior a los encontrados en esta investigación donde la A promedio en el

periodo lluvioso fue $(6,5 \pm 0,54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$. El periodo de sequía causó una inhibición de 100 % en la A en todos los genotipos, en contraste se ha reportado que la sequía causó una reducción del 30 % en 21 genotipos de café arábigo (Tezara et al., 2022). Hubo un efecto significativo en la interacción (genotipos x periodos), indicando que existió una respuesta diferencial de A, a la sequía dependiendo del genotipo (Fig. 4 A).

En la provincia de Esmeraldas, Ecuador, se ha reportado que A varió entre 9,5 y 15,1 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y g_s entre 198,3 y 411,8 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, en diferentes cultivares de café arábigo (Tezara et al., 2018; Loyaga 2018). En Solano, Manabí en genotipos de *C. arabica* presentaron valores de A ($10\text{-}15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tezara et al., 2022), en Brasil (DaMatta et al., 2008) reporta valores A de 8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los cultivares de *C. arabica* muestran una mayor fijación de carbono entre 17 y 23°. El proceso fotosintético del cafeto se inhibe fuertemente bajo una temperatura foliar de 32 °C (Ronquim et al., 2017).

Transpiración (E)

La E determino que los genotipos tienen una respuesta diferenciales en el periodo de sequía en que se perdió más agua que en el periodo de lluvia; la E fue 2.25 veces mayor en sequía que en lluvia (Fig. 4 B), coincidiendo con lo reportado en cacao en el Ecuador por (Jaimez et al., 2018) y contrario a lo reportado por Tezara et al. (2022) en genotipos de café arábigo donde las menores tasas de E fueron observadas en sequía. Los valores promedios de E en el periodo lluvioso fueron $(0,8 \pm 0,18 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})$, se observaron los mayores valores de E (0,9 y 0,8 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en Arara y Catimor CIFIC P3. Mientras que los menores valores se observaron en Catimor 8664 y Cavimor H 773 (0,3 y 0,4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Los valores promedios de E en el periodo de sequía fueron $(1,8 \pm 0,98 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})$, se observaron los mayores valores de E (2,4 y 2,1 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en Arara 11, Acawa amarillo y Gheisa Ecu. Mientras que los menores valores se observaron en Catimor CIFIC P3 y Catimor UFV 5608 (1,6 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Fig. 4 B).

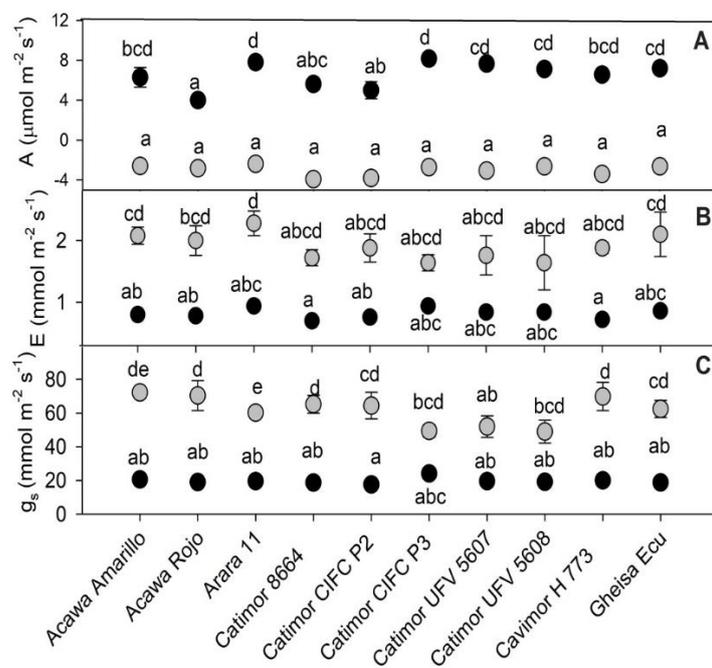
Los valores de E en este estudio fueron la mitad de lo reportado en café arábigo y clones de robusta (Tezara et al., 2018; 2020; 2022; Loyaga 2018), esto probablemente fue debido al alto DPV utilizado en la determinación del intercambio gaseoso.

Conductancia estomática (g_s)

La tendencia observada en la g_s fue similar a la E, es decir en sequía hubo una mayor g_s en comparación con el periodo lluvioso. Los valores promedio de g_s en el periodo lluvioso fueron ($19 \pm 0,73 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), se observaron los mayores valores de g_s ($25 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), en Catimor CIFIC P3. Mientras que los menores valores se observaron en Catimor CIFIC P2 ($10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Los valores promedio de g_s en el periodo de sequía fueron ($61 \pm 0,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), se observaron los mayores valores de g_s (72 y $70 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), en Acawa amarillo, Acawa rojo y Cavimor H 773. Mientras que los menores valores se observaron en Catimor CIFIC P3 y Catimor UFV 5608 ($49 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 4C).

Los valores de g_s en el estudio fueron inferiores a las reportadas en la literatura para el café arábica y conilón, 108 y $148 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente (DaMatta, 2007) en café arábigo y clones de robusta, con valores de 400 - $277 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente (Tezara et al., 2018; 2022).

Figura 4. Cambios estacionales de fotosíntesis (A), Transpiración (B) y Conductancia Estomática (C), en hojas de 10 genotipos de café arábigo evaluados con un alto gradiente de vapor de agua; en plantas cultivadas en el campo, en periodo de lluvias (círculos negros) y en periodo de sequia (círculos grises). Los valores son las medias \pm error estándar ($n = 5$). Letras diferentes en cada barra muestran diferencias significativas, $p < 0,05$.



La g_s es directamente proporcional a la apertura de los estomas, los valores encontrados en el estudio indica una fuerte control estomático, ya que los estomas estaban prácticamente cerrados por lo tanto se afecto a capacidad de transporte de agua afectando a las relaciones hídricas de la planta así como a la eficiencia de absorción de agua y nutrientes. Los resultados de la g_s son extremadamente bajas, tanto en lluvia como en sequía, e interesantemente en sequia la g_s ($61 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) fue mayor 3.2 veces mayor que en lluvia ($19 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en repuesta al alto DPV usado en el estudio.

La g_s se vio afectada en todas los genotipos en el periodo de sequía (Figura 4C), lo cual concuerda con Jaimez et al. (2018) quien indica que en el Ecuador, g_s similares han sido reportadas durante la estación seca en cacao; mientras que Loyaga (2018) reporta en café g_s entre 150 y 300 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, probablemente debido al bajo DPV ($<1.4 \text{ KPa}$) y alta HR. Oliveros Díaz & Caicedo Vera (2023), indicaron que g_s es un parámetro que determina el grado de apertura estomática que hay en las hojas de las plantas; la g_s tiene la capacidad de regular la pérdida de vapor de agua y el ingreso de CO_2 , por ende, reduce o regula la E, para maximizar la A. Así mismo, la apertura o cierre de estomas, es una medida en respuesta a las variaciones ambientales, así como el sometimiento del estrés de tipo abiótico o biótico.

En el Ecuador la mayoría de las plantaciones de cacao y café están en plena exposición solar y probablemente la escasez de precipitaciones podría afectar el rendimiento fisiológico y productivo de estos cultivos. En los genotipos de café evaluados hubo diferencias significativas entre periodos; sin embargo, también se observó una respuesta diferenciada de A, E, g_s a la variación estacional (lluvia - sequía); similares repuestas se han reportados en cacao y café en condiciones de invernadero y campo, respectivamente (Lozano & Fonseca, 2016; Tezara et al., 2022).

Jaimez et al. (2018) indicaron que a medida que las plantas se encuentran sometidas a déficit hídrico, ocurre un cierre estomático temprano y por lo tanto se reduce las tasas de perdida de agua por E y fijación de CO_2 por A. La magnitud del impacto del déficit hídrico depende de las variaciones climáticas a lo largo del día. Las variables climáticas que afectaron el desarrollo de la planta fueron la temperatura y la humedad relativa en forma de DPV.



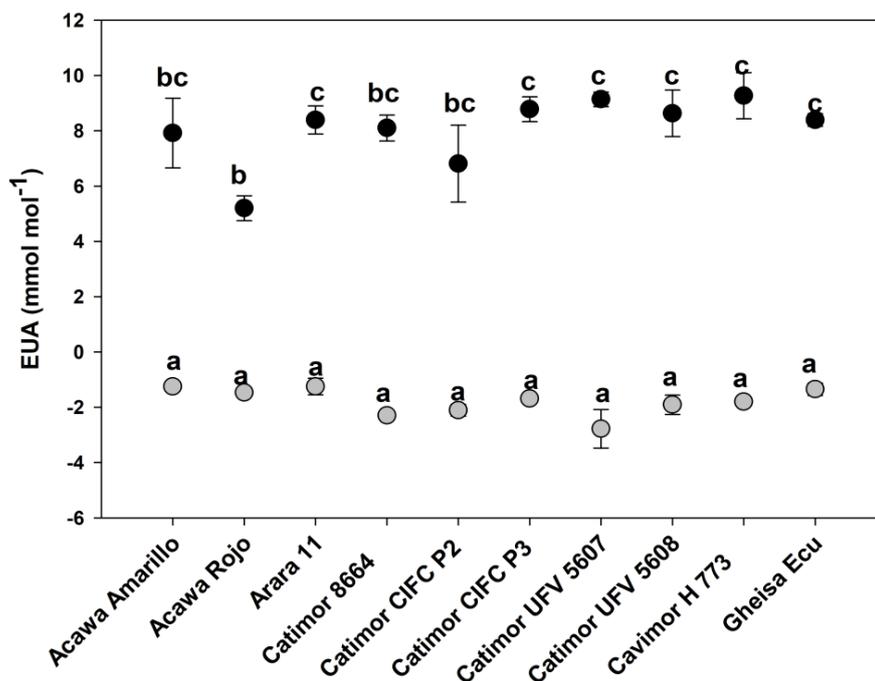
Eficiencia del uso del agua (EUA)

Hubo una respuesta diferencial de EUA, dependiendo del genotipo a la variación estacional. El promedio de la EUA en el periodo de lluvias fue de $(8 \pm 0,6 \text{ mmol mol}^{-1})$, se observaron los mayores valores de EUA (9 mmol mol^{-1}), en Cavimor H773 y Catimor UFV 5607. Mientras que el menor valor se observa en Acawa rojo ($5,2 \text{ mmol mol}^{-1}$). Los valores promedios de EUA en el periodo de sequía fueron negativos indicando una EUA de cero (Fig. 5).

Los valores de EUA encontrados en el estudio el periodo de lluvia, fueron muy superiores a los reportados en café arábigo y clones de robustas ($2,8$ y $3,8 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente) evaluados en invernaderos y campo en el Ecuador (Tezara et al., 2020; 2022). En Ecuador se estudió la respuesta fisiológica y agronómica de 10 cultivares *C. arábigo* al déficit hídrico en condiciones de invernadero y se obtuvieron que A , g_s , EUA difirieron significativamente entre cultivares de café (Loyaga 2018). La A vario entre cultivares entre 8 y $14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. El café fue sensible al DH, mostrando una respuesta diferencial entre cultivares, se concluyó que la A y la EUA podrían ser indicadores de la tolerancia que poseen los cultivares de café al DH (Loyaga, 2018).

La respuesta diferencial podría ser debido a que existen genes expresados diferencialmente en clones sensibles y plantas tolerantes (Guedes et al., 2018). La plasticidad fenotípica se define como la capacidad de un individuo para modificar su expresión fenotípica en respuesta a los cambios en el entorno (Valladares et al., 2006). La plasticidad contribuye a la tolerancia a la sequía en algunos cultivares, pero la mayoría de las investigaciones se han restringido a períodos de corto plazo, sin eventos consecutivos de sequía (evitando así la aclimatación) y bajo condiciones de crecimiento limitadas (contenedores). A nuestro entender, existe información limitada sobre cómo la plasticidad fenotípica podría contribuir a la tolerancia a la sequía en cultivares de café en condiciones de campo y para varias escalas, desde el órgano hasta el nivel de toda la planta, incluido el subsuelo (Pérez-Molina et al., 2019).

Figura 3. Cambios estacionales de Eficiencia Uso de Agua, en hojas de 10 genotipos de café arábigo evaluados con un alto gradiente de vapor de agua; en plantas cultivadas en el campo, en periodo de lluvias (círculos negros) y en periodo de sequia (círculos grises). Los valores son las medias \pm error estándar (n = 5). Letras diferentes en cada barra muestran diferencias significativas, $p < 0,05$.



Estudios realizados en Centro América, Sur América y Centro de África, con el fin de predecir los efectos del cambio climático en las cadenas de suministro de café entre otros aspectos, demuestran que se registrarán cambios considerables en calidad; muchas regiones donde se cultiva de forma tradicional el café perderán aptitud y surgirán nuevas zonas, con desplazamiento hacia zonas de mayor altitud. El clima tenderá a la estacionalidad, con variaciones, incrementando la temperatura y disminuyendo la precipitación a través del año; pero no sólo son las tendencias en cuanto a los cambios, sino las estrategias que se plantean para mitigarlos. Advierten de la necesidad de fortalecer la investigación que les permita a los cafeteros adaptarse a esos nuevos ambientes, que los actores de toda la cadena inviertan más en redes colaborativas y compartan el conocimiento, de manera que aseguren su permanencia en el negocio. La mayor parte de las plantas se estarán cultivando en condiciones desfavorables para su crecimiento y desarrollo, lo que implica pérdidas en el potencial genético para la producción bajo condiciones de estrés (Ramalho et al., 2009).

CONCLUSIONES

En los genotipos de café la sequía tuvo un fuerte efecto en las relaciones hídricas e intercambio de gases, así como a la eficiencia de absorción de agua y EUA. Someter a las genotipos de café a un alto DPV simulando condiciones de una sequía intensa que sería un probable escenario del cambio climático global, permitió determinar en la mayoría de variables evaluadas (intercambio de gases, \square_{am} , Ψ_{pm} , K_L) mostraron diferencias altamente significativas entre los genotipos de café estudiados, entre periodos de lluvia y sequía y en la interacción (genotipo \times periodo), con la excepción de la E y K_L (entre genotipos) y la interacción.

Se evidencio que el \square_{am} y \square_{pm} disminuyeron en sequía, como consecuencias del bajo CAS, esto causo una reducción del intercambio gaseoso, afectando principalmente A, E, g_s y K_L . La sequía causo una reducción diferencial en A en todos los genotipos, incrementado los procesos de fotorrespiración y respiración mitocondrial. Interesantemente, en sequía la E y g_s variaron y fueron significativamente mayor que en lluvias.

Se concluyó que hubo una respuesta fisiológica diferencial a la sequía dependiendo del genotipo apoyando la hipótesis de que la variabilidad genética en las genotipos de *C. arabica*, mostraron diferencias en la respuesta fisiológicas a la variación estacional de la precipitación. Encontrándose un aumentó en K_L durante la sequía (ausencia de precipitaciones), hecho que podría ser explicado por que en la zona de estudio prevalece una alta humedad relativa y alta nubosidad. Consideramos importante dilucidar los mecanismos involucrados en estas respuestas y así obtener información relevante de como estos café arábigos podría responder al eminente cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayegboyin, K. O., & Akinrinde, E. A. (2016). Effect of Water Deficit Imposed during the Early Developmental Phase on Photosynthesis of Cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Agricultural Sciences*, 07(01), 11–19. <https://doi.org/10.4236/as.2016.71002>
- Biodiversidad, M. (2020). Variabilidad genética. In *Biodiversidad Mexicana*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/vargenetica%0Ahttps://www.biodiversidad.gob.mx/genes/vargenetica.html>



- Bunn, C., Läderach, P., Jimenez, J. G. P., Montagnon, C., & Schilling, T. (2015). Multiclass classification of agro-ecological zones for arabica coffee: An improved understanding of the impacts of climate change. *PLoS ONE*, 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140490>
- Bunn, C., Lundy, M., Läderach, P., Castro-Llanos, F., & ... (2018). Café sostenible adaptado al clima en Honduras. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/105436>
- Ceccarelli, V., Fremout, T., Zavaleta, D., Lastra, S., Imán Correa, S., Arévalo-Gardini, E., Rodriguez, C. A., Cruz Hilacondo, W., & Thomas, E. (2021). Climate change impact on cultivated and wild cacao in Peru and the search of climate change-tolerant genotypes. *Diversity and Distributions*, 27(8), 1462–1476. <https://doi.org/10.1111/ddi.13294>
- Castro Rojas , M. F., & Silva Herrera , G. A. (2021). Evaluación de estrategias efectivas para la reinserción social de individuos pospenados. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 1(1), 58-80. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v1i1.5>
- Chavarría Oviedo, F. A., & Avalos Charpentier, K. (2022). English for Specific Purposes Activities to Enhance Listening and Oral Production for Accounting . *Sapiencia Revista Científica Y Académica* , 2(1), 72–85. <https://doi.org/10.61598/s.r.c.a.v2i1.31>
- Da Gama, T. C. P., Sales Junior, J. C., Castanheira, D. T., Silveira, H. R. de O., & De Azevedo, H. P. A. (2017). Anatomy and physiology of leaf coffee plants in different fertilizing levels. *Coffee Science* [S. l.], v. 12, n. 1, p. 42–48, . <https://doi.org/10.25186/cs.v12i1.1195>
- DaMatta, F. M. (2007). Ecophysiology of tropical tree crops: An introduction. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 239–244. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400001>
- DaMatta, F. M., Rahn, E., Läderach, P., Ghini, R., & Ramalho, J. C. (2019). Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated? *Climatic Change*, 152(1), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2346-4>



- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2008). Ecophysiology of growth and production. *Oil Palm: Cultivation, Production and Dietary Components*, 19(4), 1–26.
- DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Pinheiro, H.A., Ducatti, C., Loureiro, M.E. (2003) Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Sci.* 164:111-117.
- GADP, S. M. (2019). PDOT San Mateo 2014 - 2019.
- Garcia Lopez, J. C., Laderach, P., & Huver, P. S. (2018). Valoración del cambio de aptitud del cultivo de café en Colombia, por variación en los escenarios climáticos futuros. *Cenicafé (Colombia)*, 69(1), 91–111.
- Gil Mora, J. E. (2019). Indicadores bióticos del cambio climático: casos granadilla y café. *Yachay - Revista Científico Cultural*, 8(1), 522–529. <https://doi.org/10.36881/yachay.v8i1.130>
- Guedes, F. A. de F., Nobres, P., Rodrigues Ferreira, D. C., Menezes-Silva, P. E., Ribeiro-Alves, M., Correa, R. L., DaMatta, F. M., & Alves-Ferreira, M. (2018). Transcriptional memory contributes to drought tolerance in coffee (*Coffea canephora*) plants. *Environmental and Experimental Botany*, 147(December 2017), 220–233. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.12.004>
- Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Loor, R. G., Tarqui, O., Quijano, G., Jimenez, J. C., & 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. <https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962>
- Khan, A. (2022). Fotorrespiración (artículo) | Fotosíntesis | Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-cam-plants>
- Lahive, F., Handley, L. R., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2021). Climate change impacts on cacao: Genotypic variation in responses of mature cacao to elevated CO₂ and water deficit. *Agronomy*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050818>
- Loyaga, D. (2018). Caracterización agronómica y fisiológica de 10 cultivares de café arábica (*Coffea arabica*) y su respuesta al déficit hídrico. Tesis Ingeniería agronomica, Univerisdad Tecnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas. Pp 58.



- Lozano, J. G., & Fonseca, L. P. M. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. En etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronomica*, 65(1), 44–50.
<https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.48161>
- Mariño, Y. (2014). Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* L. A diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. *Acta Agronomica*, 63(2), 128–135.
<https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.38454>
- Melo, E. F., Fernandes-Brum, C. N., Pereira, F. J., Castro, E. M. de, & Chalfun-Júnior, A. (2014). Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* cultivar Siriema under drought conditions. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(1), 25–33.
<https://doi.org/10.1590/s1413-70542014000100003>
- Machuca-Sepúlveda, J., López M., M., & Vargas L., E. (2021). Equilibrio ambiental precario en humedales áridos de altura en Chile. *Emergentes - Revista Científica*, 1(1), 33-57.
Recuperado a partir de <https://revistaemergentes.org/index.php/cts/article/view/3>
- Oliveros Díaz, M., & Caicedo Vera, J. (2023). La conductancia estomática (gs), importancia función y factores de influencia. Medición de la conductancia estomática (gs) a través del porómetro de difusión estable en diferentes cultivos. February. <https://bit.ly/3Xo98Qs>
- Pérez Molina, J. P., Roupsard, O., Dauzat, J., DaMatta, F., Rodrigues, G., Marraccini, P., Jourdan, C., Delgado Rojas, J., Andrade, A., Moreira, M., Mera, A., & Lavagnini, G. (2019). Impactos de la sequía en el café: integrando procesos fisiológicos y morfológicos desde la hoja hasta la escala de toda la planta. *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales*. 1–7. June. <https://doi.org/10.15359/cicen.1.60>
- Ramalho, M. A. P., da Silva, G. S., & dos Santos Dias, L. A. (2009). Genetic plant improvement and climate changes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 9, 189–195.
- Rodríguez G, J. (2012). Conductancia hidraulica en patrones de citricos. In Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- Ronquim, C., Leivas, J., & Teixeira, C. (2017). Gas exchange in leaves of *Coffea arabica* irrigated. In Inovoagri Interntional Meeting.



- Ríos Castro , N. (2022). La Evaluación y el Manejo del Dolor en Pacientes con Enfermedad Terminal. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 3(2), 80-95.
<https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v3i2.37>
- Sack, L., Melcher, P. J., Zwieniecki, M. A., & Holbrook, N. M. (2002). The hydraulic conductance of the angiosperm leaf lamina: A comparison of three measurement methods. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), 2177–2184.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erf069>
- Sack, L., & Scoffoni, C. (2012). Measurement of leaf hydraulic conductance and stomatal conductance and their responses to irradiance and dehydration using the Evaporative Flux Method (EFM). *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, 70.
<https://doi.org/10.3791/4179>
- Semedo, J. N., Rodrigues, W. P., Dubberstein, D., Martins, M. Q., Martins, L. D., Pais, I. P., Rodrigues, A. P., Leitão, A. E., Partelli, F. L., Campostrini, E., Tomaz, M. A., Reboredo, F. H., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A. I., Lidon, F. C., DaMatta, F. M., & Ramalho, J. C. (2018). Coffee responses to drought, warming and high [CO₂] in a context of future climate change scenarios. *Climate Change Management*, 465–477.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-72874-2_26
- Tezara, W., Duicela G, L. A., Reynel Chila, V. H., Nazareno Ortiz, R., & Bolaños Ortega, M. J. (2022). Cambios estacionales en el intercambio de gases y rendimiento de 21 genotipos de *Coffea arabica*. *Botanical Sciences*, 100(4), 1000–1013.
<https://doi.org/10.17129/botsoci.3023>
- Tezara, W., Mendoza Cortez, P. J., Loyaga Guerrero, W. D., Reynel Chila, V. H., & Bolaños Ortega, M. J. (2020). Capacidad fotosintética de 15 clones de café robusta (*Coffea canephora*). *Revista ESPAMCIENCIA*, 11(2), 57–67.
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.206
- Tezara W, Loyaga D., Mendoza P., Bolaños M., Reynel V. 2018. Intercambio gaseoso en café y su respuesta al déficit hídrico. *Memorias del Instituto de Biología Experimental* vol. 9: 89-92.



- Tozzi, F. R. O., & Ghini, R. (2016). Impacto do aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono sobre a ferrugem e o crescimento do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51(8), 933–941. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000800005>
- Valladares, F., Sanchez-Gomez, D., & Zavala, M. A. (2006). Quantitative estimation of phenotypic plasticity: Bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology*, 94(6), 1103–1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01176.x>
- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, R., Donatti, C., Harvey, C., & Alpízar, F. (2017). Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica , estrategias de mitigación y adaptación. Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE). Catie

