



Short note [Nota corta]

ECOPHYSIOLOGICAL RESPONSES OF COFFEE CULTIVATION UNDER DIFFERENT SHADING CONDITIONS †

[RESPUESTAS ECOFISIOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CAFÉ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE SOMBREAMIENTO]

Bruno Fardim Christo¹, Dionicio Belisario Luis Olivas^{2*},
Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho³, Tafarel Victor Colodetti¹,
Vanessa Maria de Souza Barros¹, Ariany das Graças Teixeira¹
and Ivanete Tonole da Silva³

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n – Guararema, 29500-000, Alegre-Espírito Santo, Brasil. Email: brunochristo@hotmail.com, arnaldohenrique.carvalho@gmail.com, tafarecolodetti@hotmail.com, vanessa.598@hotmail.com, arianyteixeira@yahoo.com.br

^{2*}Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Av. Mercedes Indacochea 609, Huacho-Lima, Perú. Email: dluis@unfjsc.edu.pe,

³Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Ibatiba, Rua Sete do Novembro, 40 – centro, 29395-000, Ibatiba-Espírito Santo, Brasil. Email: ivanete.silva@ifes.edu.br

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Shade crops emerge as an alternative to reduce the effects of global climate change in conventional agriculture. **Objective:** To analyze the ecophysiological responses of coffee cultivation (*Coffea arabica* L.) under different shading conditions. **Methodology:** Four treatments were established: coffee in full sun, coffee with shade of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.), coffee with shade of banana (*Musa* sp. var. Nanicon) and coffee with shade of palm (*Euterpe edulis*), in a completely randomized design with six replicates. In each treatment, the crops of cassava, banana and palm were planted in a center line between the lines of the coffee crop. The evaluation was carried out at 1:00 pm, and the variables studied were net assimilation rate of carbon (A), stomatal conductance (g_s), transpiration rate (E), substomatic concentration of CO_2 (C_i), vapor pressure deficit (DPV), instantaneous efficiency of water use (A/E), intrinsic efficiency of water use (A/g_s) and instantaneous efficiency of carboxylation (A/C_i). **Results:** under shaded conditions, Coffee, showed the highest values for the net assimilation rate of carbon, stomatal conductance, transpiration rate, instantaneous efficiency carboxylation, instantaneous efficiency of water use, intrinsic efficiency in water use, and reduced vapor pressure deficit, compared to growing in full sun. **Implications.** Growing coffee under shaded conditions improves its photosynthetic activity and makes more efficient use of water, this type of conduction being an interesting option for places with high insolation and with problems of water availability. **Conclusion:** The ecophysiological variables are influenced by the shading conditions, being that the shade provided by the banana favored the obtaining of higher values for the variables analyzed in the coffee crop.

Key words: *Coffea arabica* L.; stomatal conductance; intercropping; photosynthesis; shading.

RESUMEN

Antecedentes: Estudios que ayuden a evaluar los agroecosistemas biodiversos son de gran importancia para la producción agrícola mundial, a fin de alcanzar una agricultura más sustentable. **Objetivo:** Analizar las respuestas ecofisiológicas del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) bajo diferentes condiciones de sombreado. **Metodología:** Se establecieron cuatro tratamientos: café a pleno sol, café bajo sombra de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.), café bajo sombra de plátano (*Musa* sp. var. Nanicon) y café bajo sombra de palmito (*Euterpe edulis*), en diseño completamente aleatorizado con seis repeticiones. En cada tratamiento, los cultivos de yuca, plátano y palmito estuvieron instalados en la línea central de las entrelineas del cultivo de café. La evaluación se realizó a las 13 horas, y las variables analizadas en el cultivo de café fueron tasa de asimilación neta de carbono (A), conductancia estomática (g_s), tasa de transpiración (E), concentración substomática de CO_2 (C_i), déficit de presión de vapor (DPV), eficiencia instantánea del uso del agua (A/E), eficiencia intrínseca del uso del agua (A/g_s) y la eficiencia instantánea de la carboxilación (A/C_i).

† Submitted June 18, 2020 – Accepted October 30, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

Resultados: El café, en condiciones de sombreado, obtuvo los mayores valores para la tasa de asimilación neta de carbono, la conductancia estomática, tasa de transpiración, eficiencia instantánea de carboxilación, eficiencia instantánea del uso de agua, eficiencia intrínseca en el uso del agua y reduce el déficit de presión de vapor, en comparación al cultivo a pleno sol. **Implicaciones.** El cultivo de café en condiciones de sombreado mejora su actividad fotosintética y hace un uso más eficiente del agua, siendo este tipo de conducción una opción interesante para lugares con alta insolación y con problemas de disponibilidad de agua. **Conclusión:** Las variables ecofisiológicas están influenciadas por las condiciones de sombreado, siendo que la sombra proporcionada por el plátano favoreció a la obtención de mayores valores para las variables analizadas en el cultivo de café.

Palabras claves: *Coffea arabica* L.; conductancia estomática; cultivo intercalado; fotosíntesis; sombreado.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población mundial y la demanda creciente por los alimentos exigen de la agricultura una mayor productividad, que bajo el modelo actual solo vienen generando presión sobre los recursos naturales, aumento de gases de efecto invernadero, deforestación y degradación de la tierra, que ponen en riesgo el futuro de la humanidad, por lo que se requiere de nuevos enfoques de producción agrícola (FAO, 2017).

La práctica de los cultivos intercalados, muy común en los agricultores familiares, permite hacer un uso más eficiente de la tierra y de las actividades propias de la explotación agrícola; y además, permite disponer de variedad de alimentos y aumentar la rentabilidad por unidad de área (Resende *et al.*, 2010; Ohse *et al.*, 2012). Sin embargo, se requieren de diseños espaciales y temporales adecuados a fin de optimizar la producción de los cultivos asociados (Matos y Nogueira, 2006; Pereira *et al.*, 2014).

El café no es ajeno a este tipo de práctica, ya que el uso de los árboles de uso múltiple como sombra es una técnica antigua y muy difundida en América Latina (Morais *et al.*, 2003). En ese sentido, los cultivos que le ofrecen sombra al cultivo del café, pueden ocasionar alteraciones fisiológicas (Araújo *et al.*, 2015), por lo que se hace necesario conocer los diferentes tipos de asociaciones espaciales y temporales de cultivos, que pueden contribuir positivamente con los procesos ecofisiológicos.

Información referente al efecto del sombreado en las actividades fisiológicas de la planta de café fueron reportadas por Nascimento *et al.* (2006), quienes manifiestan que el aumento de sombra reduce la tasa de asimilación neta de carbono y la conductancia estomática. Por otra parte, Zapata *et al.* (2017) evaluando tres niveles de sombra (baja: 0 a 20%, media: 21 a 47% y alta: 48 a 70%) en el cultivo del café determinaron que en condiciones intermedias de sombreado se presentaron los valores más altos de tasa de asimilación neta de carbono, conductancia

estomática, tasa de transpiración, eficiencia en el uso del agua y menor déficit de presión de vapor. Así mismo, estos autores reportan que existe una relación inversa entre la conductancia estomática y el déficit de presión de vapor. En ese contexto, estudios que evalúen agroecosistemas biodiversos son de gran importancia para la producción agrícola mundial, a fin de alcanzar una agricultura más sustentable.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue analizar las respuestas ecofisiológicas del cultivo de café bajo diferentes condiciones de sombreado. Específicamente, se espera comprender las respuestas puntuales de la fotosíntesis en el horario más caliente del día, en hojas del café a pleno sol, café bajo sombra de yuca, café bajo sombra de plátano y café bajo sombra de palmito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del campo experimental

El estudio se realizó en una propiedad rural, típicamente productora de café arábica, ubicada en la localidad de Lagoa seca, municipio de Alegre, Espírito Santo, Brasil (20°53'30" S, 41°28' W) a 740 msnm, disponiéndose para ello de 1,50 hectáreas. El área estudiada se caracteriza por presentar topografía ondulada accidentada, con suelo de textura arcillosa cuyas características químicas se muestran en la Tabla 1.

El clima de la región, según la clasificación de Köppen, es del tipo "Cwa", con dos estaciones bien definidas durante el año, siendo el verano cálido y lluvioso y el invierno frío y seco.

Los datos de precipitación y temperatura en la campaña 2016/2017 fueron colectados de la estación meteorológica automática Modelo E5000 instalada en sitio de estudio. La temperatura media anual fue de 21,34 °C; y la precipitación pluvial acumulada anual, de 1616,29 mm. La radiación solar al momento de la evaluación fue de 1,075 MJ/m²/h.

Tabla 1. Características químicas del suelo.

pH	P	K	Ca	Mg	Al +H	SB	MO
	---- mg.dm ⁻³ ----		----- cmolc.dm ⁻³ -----				dag.kg ⁻¹
5,75	2,77	80,8	1,69	1,15	2,74	3,06	2,07

P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Al + H: acidez potencial; SB: saturación de bases; MO: materia orgánica.

La plantación de café (*Coffea arabica* L.) corresponde al cultivar Catuaí Rojo IAC 44 y fue implantado en el año 1991. El cultivo es conducido con dos plantas por hoyo y con espaciamiento de 3 m entre líneas y 2 m entre hoyos; y se desarrolla bajo condiciones de secano. En el 2010, a la plantación del café se le hizo la poda tipo descope bajo y se instaló como cultivo intercalado el plátano (*Musa* sp. var. Nanicón), con un distanciamiento de 5 m. De la misma forma, en el 2013, como cultivo intercalado se instaló el palmito (*Euterpe edulis*), a un distanciamiento de 5 m. Finalmente, en el 2016, se instaló como cultivo intercalado la yuca (*Manihot esculenta* Crantz.), a un distanciamiento de 0,80 m.

El manejo del encalado y fertilización del cultivo del café arábica fue realizado de acuerdo con las recomendaciones para el estado de Espírito Santo (Prezotti *et al.*, 2007). Los cultivos intercalados no recibieron ningún tratamiento adicional.

Es necesario agregar que los cultivos intercalados con el café fueron plantados de acuerdo a las necesidades propias del agricultor, por lo que estos se encontraban dispersos, sin ningún orden establecido, entendiéndose que el cultivo principal es el café.

Diseño experimental

Por las condiciones al azar en las que fueron implantadas los distintos cultivos intercalados, se adoptó el diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y seis repeticiones por tratamiento. Cada repetición estuvo compuesta por una planta útil.

Los tratamientos fueron: café a pleno sol, café bajo sombra de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.), café bajo sombra de plátano (*Musa* sp. var. Nanicón) y café bajo sombra de palmito (*Euterpe edulis*).

Análisis de la actividad fisiológica

Las evaluaciones ocurrieron en el ciclo productivo del año 2016/2017, durante la fase de llenado de los granos (máxima expansión), cuando el metabolismo de la planta se encuentra más activo y en plena actividad

vegetativa y reproductiva (Laviola *et al.*, 2007). En cada planta útil se seleccionó un ramo plagiotrópico productivo ubicado en la parte media de la planta, siendo en éste, realizada las mediciones de la actividad fisiológica con el lector de gases infrarrojo (IRGA Licor 6400XT). Se evaluaron tasa de asimilación neta de carbono (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), tasa de transpiración (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentración subestomática de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), déficit de presión de vapor (DPV, kPa), eficiencia instantánea del uso del agua (A/E , $\mu\text{mol mmol}^{-1}$), eficiencia intrínseca del uso del agua (A/g_s , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) y eficiencia instantánea de la carboxilación (A/C_i , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Las mediciones fueron realizadas en un día de cielo despejado, en el horario de las 13 horas, que es el período más crítico para las plantas, tomando por patrón las hojas ubicadas entre el tercer y cuarto par de hojas a partir del ápice del ramo plagiotrópico, de modo de seleccionar hojas totalmente expandidas, completamente maduras y sin la presencia visual de cualquier tipo de anomalía. La radiación fotosintéticamente activa fue estandarizada en luz saturante artificial de $1000 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y el CO_2 en concentración en la cámara de 420 ppm.

Al momento de las evaluaciones las alturas de planta fueron las siguientes: café con 2,40 m; plátano con 5,00 m, palmito con 3,00 m y la yuca con 3,00 m.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos para cada variable en estudio fueron sometidos al análisis de varianza por la prueba F ($p < 0,05$) y las medias, comparadas con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). El análisis fue realizado con el programa estadístico SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan las medias de tasa de asimilación neta de carbono (A), conductancia estomática (g_s), tasa de transpiración (E) y déficit de presión de vapor (DPV), para evidenciar diferencias estadísticas entre los tratamientos y para todas las variables analizadas.

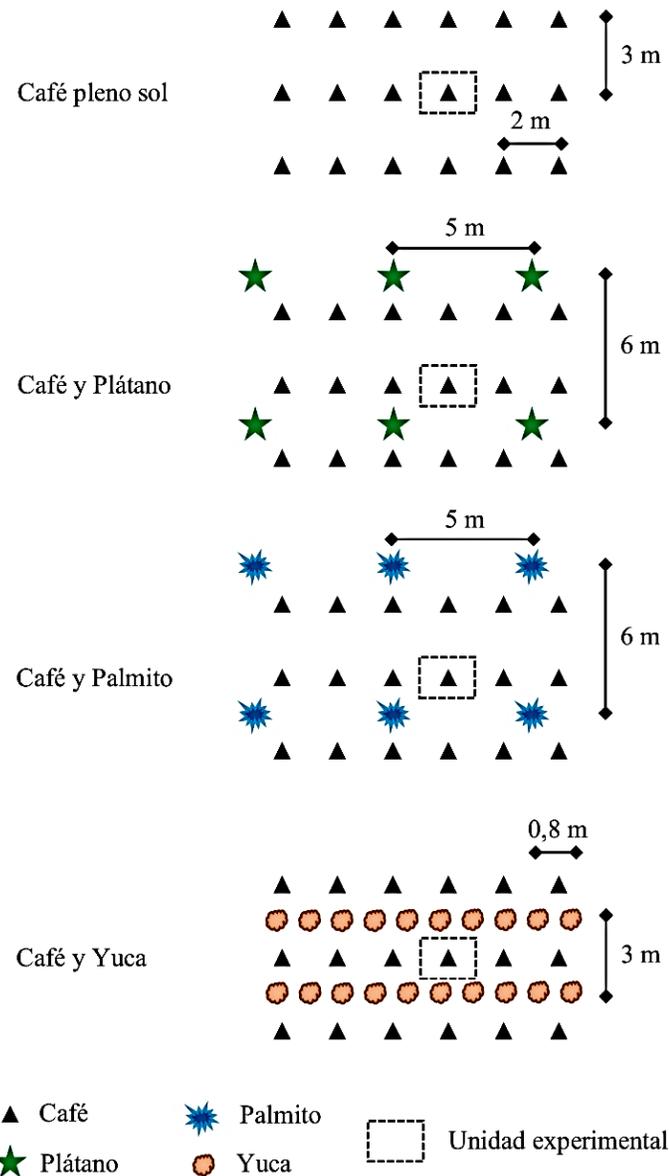


Figura 1. Representación esquemática de los tratamientos: café a pleno sol; café bajo sombra de plátano; café bajo sombra de palmito; y café bajo sombra de yuca.

La tasa de asimilación neta de carbono (A) fue mayor significativamente en el café bajo sombra de plátano, seguido del café bajo sombra de palmito, y de yuca; y menor, en el café a pleno sol (Tabla 2). Este hecho puede ser explicado por el nivel de sombreado producido por cada uno de los cultivos intercalados con el café. Las plantas C_3 , como es el caso del café, pueden saturar el aparato fotosintético con bajos niveles de radiación (Larcher, 2000), lo que ayuda a explicar, en parte, la ocurrencia de mayores tasas de asimilación de carbono en horarios calientes del día. Es posible que el tipo de sombreado y la densidad de plantas del plátano intercaladas con el café haya sido suficiente para mantener un microclima con menores oscilaciones diarias de las condiciones climáticas, y de esta forma favorecer tales resultados de tasa

fotosintética en el horario en cuestión, tal como fue evidenciado por Valentine et al. (2010), quienes observaron que la presencia de árboles dentro del cultivo de café pueden disminuir tanto la temperatura máxima en los días más calientes y con cielo despejado como la amplitud térmica.

Como se observa en la Tabla 2, el café a pleno sol presentó la menor tasa de asimilación neta de carbono (A). La exposición de las hojas del café a niveles elevados de irradiación puede causar daños fotooxidativos al aparato fotosintético y, consecuentemente, aumentos en la fotorrespiración del café, reduciendo así la fotosíntesis neta (A) (Cavatte et al., 2012).

La conductancia estomática (g_s) se comportó de forma similar a la A , donde las mayores medias fueron observadas en el café bajo sombra de plátano, seguido del café bajo sombra de yuca, y de palmito; y menor, en el café a pleno sol (Tabla 2). Cabe resaltar que mayores valores de g_s contribuyen a mayores tasas fotosintéticas (DaMatta *et al.*, 2008), tal como fue encontrado en el café sombreado, principalmente con la de plátano.

La resistencia estomática puede limitar considerablemente las tasas fotosintéticas del café, pudiendo esta limitación causar efectos negativos en el crecimiento de las plantas (Silva *et al.*, 2004). Además, restricciones en la conductancia estomática dificultan la difusión de CO_2 atmosférico hacia el mesófilo foliar, causando disminución de la tasa de asimilación de carbono, lo que puede llevar al aumento del proceso de fotorrespiración (Taiz y Zeiger, 2013). La ecofisiología del crecimiento y producción de café arábica es favorecida por la estabilidad de la temperatura y de la humedad relativa del aire (DaMatta *et al.*, 2007), condiciones que pueden ser observadas en el cultivo de café intercalado con otros cultivos de mayor porte. La exposición continua del café arábica a temperaturas elevadas afecta considerablemente su crecimiento y producción (DaMatta y Ramalho, 2006).

En lo que se refiere a la tasa de transpiración (E), se observa que presentó comportamiento similar a g_s , y eso ocurre porque la E está directamente relacionada con la conductancia (Tabla 2). Cuanto mayor es la abertura estomática, mayor la posibilidad de un aumento de la tasa de asimilación de carbono y, consecuentemente, mayor pérdida de vapor de agua por transpiración (E). Es posible que el sombreado del café haya favorecido la formación de un microclima local, capaz de propiciar mayores valores de A , g_s y E , tal como fue verificada previamente por DaMatta (2004) y, por consiguiente, los aumentos observados en A fueron sustentados por mayores g_s y E (Morais *et al.*, 2012).

La mayor media de déficit de presión de vapor (DPV) en las hojas fue observada en el café a pleno sol, seguido del café bajo sombra de palmito y de yuca; y menor, en el café bajo sombra de plátano (Tabla 2). Valores elevados de DPV ocasionan una significativa declinación en la g_s y, consecuentemente, una reducción considerable en las tasas de asimilación de carbono (Taiz y Zeiger 2013). Es probable que la formación de un microclima (con posibilidad de temperaturas más adecuadas y mayor humedad relativa del aire) en las plantas de café intercalados con los otros cultivos, principalmente con plátano, haya

ocasionado menores valores de DPV, lo que está explicado por los valores de A , g_s y E (Tabla 2). Estos resultados refuerzan la hipótesis de la formación de microclimas en los cultivos intercalados (principalmente con plátano), capaz de atenuar las condiciones climáticas adversas que posibilitan mantener mayores tasas de intercambio gaseoso en el horario más caliente del día.

Se observaron diferencias significativas en la concentración subestomática de CO_2 (C_i), eficiencia instantánea de carboxilación (A/C_i), eficiencia instantánea en el uso del agua (A/E) y eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/g_s) entre los tratamientos (Tabla 3).

Nótese que el cultivo de café a pleno sol presentó mayor media de concentración subestomática de CO_2 (C_i), seguido del café con sombra de plátano, de palmito y de yuca respectivamente (Tabla 3); sin embargo, mostró menor eficiencia instantánea de carboxilación en comparación con en el café con sombra de plátano, de yuca y de palmito (Tabla 3), lo que demuestra que la mayor disponibilidad de sustrato para la fotosíntesis (CO_2), no necesariamente resultó en mayores tasas de asimilación neta de carbono, debido posiblemente a las limitaciones en el aparato fotosintético de las plantas a pleno sol y en el horario en que las plantas fueron evaluadas. Según Schock *et al.* (2014), en condiciones en que hay mayor transpiración, puede ocurrir el aumento del espesor de la capa límite de vapor de agua existente en la interfaz de hoja aire, aumentando así la resistencia a la entrada de CO_2 a través de los estomas, influyendo en la relación entre tasa de asimilación neta de carbono y la eficiencia de carboxilación. Es posible también que en el momento de las evaluaciones (13 horas del día) las plantas de café a pleno sol hayan estado en pleno proceso de fotorrespiración, tal como fue evidenciado por Favarin *et al.* (2005) en sus evaluaciones realizadas al medio día, ya que la conductancia estomática, la tasa de transpiración y la fotosíntesis ya estaban considerablemente bajas (a pesar de disponer de elevada C_i), en tanto que el déficit de presión de vapor estaba elevado. Estos son reflejos posiblemente ocasionados por limitaciones estomáticas a la fotosíntesis (Flexas *et al.*, 2012, Martins *et al.*, 2014, Silva *et al.*, 2010). Resultado semejante fue reportado en plantas de café arábica con apenas un ramo ortotrópico y cultivada a baja altitud en el horario del día más favorable a la actividad fotosintética (8 a 10 am) y contrastando con los resultados de las plantas con tres y cuatro ramas ortotrópicas, siendo esto un indicio de limitación bioquímica de la fotosíntesis (Colodetti *et al.*, 2020).

Tabla 2. Tasa de asimilación neta de carbono (A), conductancia estomática (g_s), tasa de transpiración (E) y déficit de presión de vapor (DPV) en plantas de café (*C. arabica*) bajo sombra (Alegre-ES, campaña 2016/2017).

Tratamiento	A ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	DPV (kPa)
Café a pleno sol	1,93 c	0,03 c	0,59 c	1,75 a
Café bajo sombra de yuca	4,78 b	0,05 b	0,72 bc	1,39 b
Café bajo sombra de plátano	8,01 a	0,09 a	1,06 a	1,08 c
Café bajo sombra de palmito	5,10 b	0,05 b	0,81 b	1,46 b

Medias seguidas por la misma letra en la columna, no difieren entre sí por la prueba de Tukey en nivel de 5% de probabilidad.

Las mayores eficiencias en el uso del agua, tanto la intrínseca (A/g_s) como la instantánea (A/E), ocurrieron en el café bajo sombra, diferenciándose significativamente del café a pleno sol (Tabla 3). Tal constatación permite inferir que las plantas de café bajo sombra de cultivos presentan mayor capacidad de asimilar carbono por unidad de agua transpirada vía flujo estomático y en los horarios más calientes del día, lo que las torna más eficientes. Este hecho fue observado en el café bajo sombra, siendo este resultado relacionado con DPV, pues cuando las plantas de café están condicionadas en un microclima favorable, las mismas consiguen mantener la apertura estomática sin grandes pérdidas de vapor de agua a la atmósfera, aumentando la eficiencia en el uso del agua. Este hecho es de gran importancia para la región, que presenta estiajes atípicos, pudiendo así aumentar la ganancia fotosintética diaria.

En ese contexto, se observan los efectos positivos en las variables fotosintéticas del café cuando está bajo la sombra proporcionada por otros cultivos. Al estudiar

alteraciones microclimáticas en cultivo de café arborizado con cocotero, Pezzopane *et al.* (2011) observaron que el cultivo intercalado causó alteraciones en los patrones de incidencia de radiación, reducción de la incidencia de los vientos sobre los cafetos, alteraciones en el régimen térmico y de humedad relativa del aire. Así, se evidencia que los efectos microclimáticos causados por los cultivos intercalados con el café favorecieron considerablemente todas las variables fotosintéticas analizadas en el horario más caliente del día, con destaque para el café intercalado con plátano.

Es importante resaltar, que la ocurrencia de mayores tasas fotosintéticas en los horarios más críticos del día (Tabla 2), tienden a tornar los sistemas más productivos, debido a la mayor disponibilidad de fotoasimilados que podrán ser dirigidos hacia el desarrollo vegetativo y reproductivo del café, pudiendo reflejarse en ganancias considerables en la productividad del cultivo.

Tabla 3. Concentración subestomática de CO_2 (C_i), eficiencia instantánea de carboxilación (A/C_i), eficiencia instantánea en el uso de agua (A/E) y eficiencia intrínseca en el uso de agua (A/g_s) en plantas de café (*C. arabica* L.) bajo sombra en la hora más caliente del día (Alegre-ES, campaña, 2016/2017).

Tratamiento	C_i ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	A/C_i ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	A/g_s ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
Café a pleno sol	325,93 a	0,0058 c	3,25 b	64,70 b
Café bajo sombra de yuca	240,66 c	0,0198 b	6,82 a	100,37 a
Café bajo sombra de plátano	274,10 b	0,0293 a	7,64 a	88,44 a
Café bajo sombra de palmito	240,96 c	0,0204 b	6,28 a	99,81 a

Medias seguidas por la misma letra en la columna, no difieren entre sí por la prueba de Tukey en nivel de 5% de probabilidad.

CONCLUSIÓN

Para las condiciones del estudio, las respuestas ecofisiológicas del cultivo de café están influenciadas por las condiciones de sombreado, siendo que bajo la sombra del plátano y en el horario más caliente del día se obtuvo los mayores valores de tasa de asimilación neta de carbono, conductancia estomática, transpiración, eficiencia de carboxilación, y eficiencia en el uso del agua y menor déficit de presión de vapor.

El plátano como cultivo intercalado en el café es una opción favorable, pues además de mejorar la ganancia fotosintética, se constituye en un alimento y en una alternativa de renta adicional para el agricultor familiar.

Agradecimientos

A CAPES por la beca de doctorado del segundo autor.

Financiamiento. No existió apoyo financiero externo para el desarrollo de la investigación.

Declaración de conflicto de intereses. No hay conflicto de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos. Se ha cumplido todos los estándares éticos.

Disponibilidad de datos. Datos disponibles con el autor ante solicitud razonable

REFERENCIAS

- Araújo, A., Partelli, F., Oliveira, M., Pezzopane, J., Falqueto, A. and Cavatte, P. 2015. Microclimatic and vegetative growth in coffee and banana intercrop. *Coffee Science*, 10(2), pp. 214-222. DOI: <https://doi.org/10.25186/cs.v10i2.856>
- Pereira, D., Oliveira, M., Donizeti, J., Guimarães, R. y Cunha, R. 2014. Metabolismo da sacarose em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de sombreado. *Coffee Science*, 9(4), pp. 445-455.
- Cavatte, P., Oliveira, A., Morais, L., Martins, S., Sanglard, L. and DaMatta, F. 2012. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. *Physiologia Plantarum*, 114, pp. 111-122. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01525.x>
- Colodetti, T.V., Rodrigues, W.N., Cavatte, P.C., Reis, E.F., Verdin Filho, A.C., Brinate, S.V.B., Martins, LD, Christo, B.F., Andrade Junior, S. and Tomaz, M.A. 2020. Managing the number of orthotropic stems in *Coffea arabica* as strategy for cultivation at low-altitude regions. *Australian Journal of Crop Science*, 14(3): pp. 447-454. DOI: [10.21475/ajcs.20.14.03.p1986](https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.03.p1986)
- DaMatta, F.M., Cunha, R., Antunes, W., Martins, S., Araújo, W., Fernie, A. and Moraes, G. 2008. In field grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. *New Phytologist*, 178(2), pp. 348-357. DOI: [10.1111/j.1469-8137.2008.02367.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02367.x)
- DaMatta, F.M. and Ramalho, J.D.C. 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), pp. 55-81. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- DaMatta, F.M., Ronchi, C.P., Maestri, M. and Barros, R.S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), pp. 485-510. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- DaMatta, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, 86, pp. 99-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>
- FAO. 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome. (en línea). Disponible en: <http://www.fao.org/3/ai6583e.pdf>
- Favarin, J.L., Netto, J.A.F., Gallo, L.A., Salgado, P.R., Bernardes, M.S., Favarin Junior, J.L., y Camargo, F.T. de. 2005. Atividade diária da redutase do nitrato e glutamina sintetase em cafeeiro arábica. http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/1847/166733_Art008f.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ferreira, D.F. 2011. SISVAR: A Computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35(6), pp. 1039-1042. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Flexas, J., Barbour, M.M., Brendel, O., Cabrera, H.M., Carriquí, M., Díaz-Espejo, A., Douthe, C., Dreyer, E., Ferrio, J.P., Gago, J., Gallé, A., Galmés, J., Kodama, N., Medrano, H., Niinemets, Ü., Peguero-Pina, J.J., Pou, A., Ribas-Carbó, M., Tomás, M., Tosens, T.

- and Warren, C.R. 2012. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: an unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*, 193-194: 70-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.009>
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo, Brasil: Rima
- Laviola, B., Martinez, H., Salomão, L., Cruz, C., Mendonça, S. and Paula, N. 2007. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(11), pp. 1521-1530. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007001100002>
- Martins, S.C.V., Galmés, J., Cavatte, P.C., Pereira, L.F., Ventrella, M.C. and DaMatta, F.M. 2014. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. *Plos One*, 9(4), pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095571>
- Matos, E. y Nogueira, R. 2006. Sistema de consórcio na produção de hortaliças. *Agrociencia*, 12(2), pp. 129-132.
- Morais, H., Marur, C., Caramori, P., Arruda, A. y Gomes, J. 2003. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(10), pp. 1131-1137. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001000001>
- Morais, L.E., Cavatte, P.C., Detmann, K.C., Sanglard, L.M., Ronchi, C.P. and DaMatta, F.M. 2012. Source strength increases with the increasing precociousness of fruit maturation in field-grown clones of conilon coffee (*Coffea canephora*) trees. *Trees*, 26(4), pp. 1397-1402. DOI: [10.1007/s00468-012-0685-8](https://doi.org/10.1007/s00468-012-0685-8)
- Nascimento, E.A., Oliveira, L.E.M., Castro, E.M., Filho, N.D., Mesquita, A.C. and Vieira, C.V. 2006. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.). *Ciência Rural*, 36(3), pp. 852-857. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300019>
- OHSE, S., Rezende, B.L.A., Silveira, L.S. and Cortezet, M.G. 2012. Viabilidade agrônômica de consórcios de brócolis e alface estabelecidos em diferentes épocas. *Idesia*, 30(2), pp. 29-37. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292012000200004>
- Pezzopane, J.R.M., Marsetti, M.M.S., Ferrari, W.R. and Pezzopane, J.E.M. 2011. Alterações microclimáticas em cultivo de café conilon arborizado com coqueiro-anão-verde. *Revista Ciência Agronômica*, 42(4), pp. 865-871. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400007>
- Prezotti, L.C., Gomes, J.A., Dadalto, G.G. and Oliveira, J.A. 2007. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª aproximação. Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO. Brasil
- Resende, A.L.S., Viana, A., Oliveira, R.J., Menezes, E., Ribeiro, R.L.D., Ricci, M.S.F. and Guerra, J.G.M. 2010. Consórcio couve-coentro em cultivo orgânico e sua influência nas populações de joaninhas. *Horticultura Brasileira*, 28(1), pp. 41-46. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000100008>
- Schock, A., Ramm, A., Martinazzo, E., Silva, D. and Bacarin, M. 2014. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-manso cultivadas em diferentes condições de luminosidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(1), pp. 3-9. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100001>
- Silva, E., DaMatta, F.M., Ducatti, C., Regazzi, A. and Barros, R. 2004. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Research*, 89(2-3), pp. 349-357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.010>
- Silva, L., Marchiori, P.E.R., Maciel, C.P., Machado, E.C. and Ribeiro, R.V. 2010. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(9), pp. 965-972. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900005>
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2013. *Fisiologia vegetal*. 5ª ed. Porto Alegre, Brasil: Artmed

- Valentine, L.S., Camargo, M.B., Rolim, G., Souza, P.S. and Gallo, P.B. 2010. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. *Bragantia*, 69(4), pp 1005-1010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400028>.
- Zapata, P., Andrade, H. and Nieto, Z. 2017. Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) cv Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Actualidad & divulgación científica* 20(1), pp. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.63>