

Impactos de la sequía en el café: integrando procesos fisiológicos y morfológicos desde la hoja hasta la escala de toda la planta

Junio Pastor Pérez-Molina

jpastorpm@gmail.com

Escuela de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional
Costa Rica.

Christophe Jourdan

Montpellier
France

Olivier Roupsard

olivier.roupsard@cirad.fr

Eco&Sols
Francia

Juan Delgado-Rojas

Agro Ambiência Serviços Agrícolas
Brasil

Alan Andrade

Embrapa Recursos Genéticos e
Biotecnologia
Brasil

Jean Dauzat

jean.dauzat@cirad.fr

Montpellier
France.

Marcelo Moreira

Laboratório de Ecologia Isotópica
Centro de Energia Nuclear na
Agricultura
Universidade de São Paulo
Basil

Fabio DaMatta

fdamatta@ufv.br

Departamento de Biologia Vegetal
Universidade Federal de Viçosa
Brasil

Ana Mera

Embrapa Cerrados
Planaltina
Brazil

Gustavo Rodriguez

Embrapa Informática Agropecuária
Brasil

Pierre Marraccini

Embrapa Recursos Genéticos e
Biotecnologia
Brasil

Gabriel Lavagnini

Embrapa Cerrados
Planaltina
Brazil

Tema: Gestión del riesgo y reducción de la vulnerabilidad.

Principal área: Biología

Pérez-Molina, J.P., Roupsard, O., Dauzat, J., DaMatta, F., Rodriguez, 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. En Y. Morales-López (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional, Costa Rica, 2019* (e195, pp. 1-7). Heredia: Universidad Nacional. doi <http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.60>
ISBN: 978-9968-9661-6-0.

Resumen

El déficit hídrico tiene un impacto negativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de alteraciones morfo-fisiológicas. Esta investigación se centró en la dinámica de los rasgos ecofisiológicos y arquitectura de dosel en dos cultivares de café, RUBI-MG1192 (**Rubi**) y IAPAR59 (**I59**), sensible y tolerante a la sequía, respectivamente. Los ensayos fueron durante dos años con tres tratamientos de riego, seis muestreos y 7-10 plantas por tratamiento. **I59** retuvo sus hojas durante la sequía y demostró ser más isohídrico y plástico para rasgos de funcionamiento hídrico, con un ajuste precoz a la sequía. En contraste, **Rubi** tuvo desprendimiento de hojas y fue más anisohídrico y plástico para rasgos tardíos a la sequía. Se concluye que la aptitud de las plantas de café sometidas a eventos climáticos depende del ajuste entre las características morfo-fisiológicas y órgano-morfológicas. Estos rasgos deberán ser considerados en los programas de mejoramiento de café.

Palabras clave: flujo-de-savia; conductancia hidráulica; anisohídrico; potencial hídrico; arquitectura del dosel.

Abstract

The water deficit has a negative impact on the growth and development of plants through morpho-physiological alterations. This research focused on the dynamics of canopy architecture and ecophysiological traits in two coffee cultivars, RUBI-MG1192 (**Rubi**) and IAPAR59 (**I59**), sensitive and tolerant to drought, respectively. The trials were for two years with three irrigation treatments, six samplings and 7-10 plants per treatment. **I59** retained its leaves during the drought and proved to be more isohydric and plastic for water functioning traits, demonstrating an early adjustment to drought. In contrast, **Rubi** had leaf shedding and was more anisohydric and plastic for traits of late reactions to drought. It is concluded that the fitness of coffee plants subjected to climatic events depends on the adjustment between morpho-physiological and organo-morphological characteristics. These features should be considered in coffee breeding programs.

Keywords: sap-flow; hydraulic-conductance; anisohydric; water potential; canopy architecture.

Introducción

El café, un producto mundialmente comercializado, es la fuente de ingresos de aproximadamente 80 países en desarrollo en los trópicos (Pay, 2009). Aunque la producción de café se ve fuertemente afectada por los eventos de sequía, la mayor parte del café del mundo ha sido cultivada por pequeños agricultores en regiones propensas a la sequía, donde el empleo de riego es una excepción. El presente estudio se centra en: (i) comparar el crecimiento, los patrones de asignación, el rendimiento y el valor de la



eficiencia del uso del agua (*WUE*); **(ii)** dilucidar las diferencias entre los cultivares en términos de estrategias hídricas (Ψ foliar, transpiración de la planta completa y conductancia hidráulica del dosel); y **(iii)** evaluar qué grupos de variables expresan una alta plasticidad fenotípica bajo estrategias iso/aniso-hídrica en los procesos órgano/morfológicas.

Marco teórico

Los cultivares tolerantes a la sequía se caracterizan por sistemas radiculares profundos (Pinheiro, DaMatta, Chaves, Fontes, & Loureiro, 2004), mejora en el estado hídrico de los tejidos asociado con el mantenimiento del área foliar (Fábio M DaMatta, Chaves, Pinheiro, Ducatti, & Loureiro, 2003), control estomático adecuado del uso del agua (Marraccini et al., 2011) y mejora *WUE* a largo plazo a medida que el agua del suelo se vuelve limitante (F. DaMatta & Ramalho, 2006). 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, Sanchez-Gomez, & Zavala, 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 reales de campo y para varias escalas, desde el órgano hasta el nivel de toda la planta, incluido el subsuelo.

Metodología

Primero se debe enfatizar que el café Arábica proviene de mesetas elevadas y frías del este de África, mientras que Robusta está mucho más expuesto al calor y la sequía en las tierras bajas de África central y desarrolló adaptaciones específicas a la sequía y un mayor rendimiento en la mayoría de las progenies. Comparamos dos cultivares de *Coffea arabica*: cv. IAPAR59 (I59, generación F4 proveniente de un cruce entre *C. arabica* cv. Villa Sarchi x *C. arabica* Timor Hybrid (TH) CIFC 832/2) y cv. RUBI-MG1192 (Rubi, proveniente de un cruce entre *C. arabica* cv. Mundo Novo x *C. arabica* cv. Catuai), que no presentó una introgresión reciente con el ADN genómico de Robusta (Carvalho et al., 2008). Durante sequías prolongadas y severas, I59 en realidad es mucho más capaz de mantener su área foliar (Fig. 1A) que Rubi (Fig. 1B), como se ha observado en ensayos preliminares en Brasil Central (Marraccini et al., 2011).





Fig. 1. Cultivo de café de 7 años de edad de I59 (izquierda, tolerante a la sequía) y Rubi (derecha, sensible a la sequía) cultivado en el campo experimental de Embrapa Cerrados-Brasilia, sin riego y sometido a más de 200 días de sequía. Tenga en cuenta que en estas condiciones, las hojas todavía están presentes para I59 pero no para Rubi. Foto: *Pierre Marraccini*.

El experimento se realizó entre enero de 2008 y marzo de 2010 en Embrapa Cerrados (15 ° 35'S, 45 ° 43'W), en Brasilia, Brasil. Los ensayos fueron durante dos años y con tres tratamientos de riego (irrigado, no irrigado e irrigado únicamente durante la segunda sequía), se realizaron seis muestreos con 7-10 plantas por tratamiento (211 plantas en total). Se evaluaron los siguientes parámetros: tasa de crecimiento relativo, productividad primaria neta, composición de la hoja (C, N y $\Delta^{13}\text{C}$), *WUE*, plasticidad fenotípica (PP), potencial hídrico de la hoja (Ψ_L), flujo de savia (*SF*), conductancia del dosel (g_C), conductancia hidráulica total del suelo a la hoja (g_L), configuración de la rama (número y longitud), número de fitómeros, desprendimiento y renovación de las hojas, dinámica del área de la hoja y longitud del entrenudo. Finalmente, se modelaron los patrones de luz interceptados para el dosel.

Análisis

¿La plasticidad fenotípica contribuye a la tolerancia a la sequía?

Según los índices de PP calculados en este estudio: el cultivar I59 “sin desprendimiento de hojas” mostró un comportamiento isohídrico con una mayor plasticidad de los rasgos hidráulicos (*SF*, g_C y g_L) que se ajustaron durante la sequía y dieron como resultado un menor consumo de agua en el suelo, lo que finalmente llevó a pocos cambios en Ψ_L . En contraste, el cultivar sensible a la sequía Rubi se reveló anisohídrico y más plástico, especialmente para los rasgos morfológicos, como lo indican sus reacciones tardías a la sequía (posterior a la sequía) asociadas con los cambios en la asignación de biomasa a las raíces junto con el desprendimiento de hojas. Rubi mostró mayor consumo de agua durante



la sequía, mayor plasticidad en Ψ_L , ajustes de masa seca (masa seca hojas y área foliar) y en indicadores para conductancia hidráulica como proporción de masa seca de raíz/área foliar. Sugerimos que la isohídrica podría estar más relacionada con la plasticidad fisiológica de los rasgos relacionados con la conservación del agua, mientras que la anisohídrica podría estar más relacionada con la plasticidad morfológica. Por lo tanto, llegamos a la conclusión de que la plasticidad fue la clave para comprender las estrategias de los cultivares contra un estrés hídrico moderado, siempre que los ajustes fisiológicos durante la sequía se distinguen de los morfológicos posterior de la sequía. Sin embargo, consideramos que los cambios en la biomasa o el rendimiento son indicadores fundamentales de la capacidad de una planta para responder y aprovechar la disponibilidad variable de recursos (agua) (Dawson, Rohr, van Kleunen, & Fischer, 2012). Como aquí no hubo un cambio importante en las tasas de crecimiento a pesar de las estrategias contrastantes para el uso del agua, asumimos que tales estrategias en general compensan con el tiempo. Se necesita más experimentación para buscar el umbral de sequía (intensidad o duración) más allá del cual el crecimiento y el rendimiento son claramente divergentes.

Síntesis de estrategias para la tolerancia a la sequía y la reproducción

Argumentamos aquí que dicha clasificación sensible/tolerante sigue siendo imprecisa con respecto a los procesos reales que sustentan las estrategias hídricas del café: considerando los resultados presentados aquí, sugerimos que los cultivares se clasifiquen a lo largo de un gradiente iso/aniso-hídrico es más apropiado (Ainsworth & Rogers, 2007; Garcia-Forner, Biel, Savé, & Martínez-Vilalta, 2017). Por definición, el cultivar isohídrico (I59) se puede considerar como más evasivo de la sequía (conservando el agua), mientras que Rubi es más resistente a la sequía (soportando reducciones mayores de Ψ_L).

Los principales requisitos para un programa de reproducción exitoso para los cultivares de café bajo sequía deben ser desarrollar cultivares que sobrevivan a períodos severos de sequía y también producir rendimientos aceptables en condiciones moderadas de limitación de agua (Silva, Cavatte, Morais, Medina, & DaMatta, 2013). Sin embargo, en línea con lo que se ha propuesto en los experimentos de plantas de café en macetas (F.M. DaMatta, 2017), aquí sugerimos que ningún rasgo único tiene suficiente poder predictivo. Además, consideramos que incluso las caracterizaciones del crecimiento y la asignación juntas no son suficientes para detectar las consecuencias del estrés por sequía, y deben completarse con un estudio de los rasgos de las relaciones del agua (en particular la vulnerabilidad a la cavitación) y las dinámicas de las reservas, lo que lleva a una mayor separación de PP entre respuestas fisiológicas y morfológicas, y con suerte, una mejor comprensión de los efectos compensatorios que ocurren.

Conclusiones

I59 retuvo sus hojas bajo sequía severa y demostró ser más isohídrico y plástico para el funcionamiento hídrico (SF , g_C y g_L), demostrando ajustes durante a la sequía. En contraste, Rubi tuvo desprendimiento de hojas, fue más anisohídrico y plástico para los cambios morfológicos, *e.g.* una mayor proporción de masa seca de raíz/área foliar y caída de hojas con una renovación más rápida de las hojas debido a un mayor número de ramas de segundo orden. A pesar de las marcadas diferencias en su funcionamiento hídrico, los dos cultivares expresaron un crecimiento, rendimiento y recuperación vegetativos similares. En



particular, el cultivar sensible a la sequía también mostró una capacidad más rápida para recuperarse del estrés por sequía; de hecho, este cultivar tenía una partición similar de la masa seca en plantas irrigadas y no irrigadas al final de dos años de evaluaciones. Los cultivares aquí examinados también difieren en sus estrategias para hacer frente a la sequía en términos de sus habilidades para establecer ramificaciones de segundo orden, es decir, Rubi fue más rápido en establecer un mayor número de ramas de segundo orden que I59. Establecer ramificaciones parece ser la forma más eficiente de aumentar y restaurar el área foliar, particularmente porque las ramificaciones pueden multiplicar el número de nodos de fructificación potenciales.

La diferencia más importante entre los cultivares se refiere a la regulación del estoma que tiene efectos inmediatos sobre la fotosíntesis y la transpiración. Las respuestas órgano-y morfogenéticas tienen leves efectos en la arquitectura a corto plazo, pero grandes efectos a mediano y largo plazo, es decir, establecer ramificaciones axilares es una forma altamente efectiva para que una planta aproveche su área foliar, ya que contribuye a un crecimiento más rápido. Un mensaje clave de esta investigación reside en el hecho de que la evaluación del rendimiento de los cultivos en condiciones de sequía debe combinar los análisis de los procesos fisiológicos y organomorfogenéticos. Los datos recopilados en este estudio proporcionaron información valiosa que podría usarse para construir un modelo estructural funcional de café que combina reglas arquitectónicas y procesos ecofisiológicos como la adquisición de carbono. La aptitud de las plantas de café sometidas a eventos climáticos depende de la adecuación de las características fisiológicas y organomorfogénicas, y por lo tanto, estos aspectos deben tenerse en cuenta en los programas de mejoramiento para la tolerancia a la sequía en el café.

Referencias

- Ainsworth, E. A., & Rogers, A. (2007). The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell & Environment*, 30(3), 258-270.
- Carvalho, C., Fazuoli, L., Carvalho, G., Guerreiro-Filho, O., Pereira, A., & de Almeida, S. (2008). Cultivares de café arábica de porte baixo. In C. CHS (Ed.), *Cultivares de Café: origem, características e recomendações*. (1 ed., Vol. 1, pp. 157-226). Brasília: Embrapa Café.
- DaMatta, F., & Ramalho, J. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- DaMatta, F. M. (2017). Coffee tree growth and environmental acclimation. In P. Lashermes (Ed.), *Achieving Sustainable Cultivation of Coffee* (Vol. 1). Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science.
- DaMatta, F. M., Chaves, A. R., Pinheiro, H. A., Ducatti, C., & Loureiro, M. E. (2003). Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, 164(1), 111-117. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00342-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00342-4)
- Dawson, W., Rohr, R. P., van Kleunen, M., & Fischer, M. (2012). Alien plant species with a wider global distribution are better able to capitalize on increased resource availability. *New Phytologist*, 194(3), 859-867.



- Garcia-Forner, N., Biel, C., Savé, R., & Martínez-Vilalta, J. (2017). Isohydric species are not necessarily more carbon limited than anisohydric species during drought. *Tree physiology*, 37(4), 441-455. doi: 10.1093/treephys/tpw109
- Marraccini, P., Freire, L., Alves, G., Vieira, N., Vinecky, F., Elbelt, S., . . . Andrade, A. (2011). RBCS1 expression in coffee: *Coffea* orthologs, *Coffea arabica* homeologs, and expression variability between genotypes and under drought stress. *BMC Plant Biology*, 11, 85. doi: 10.1186/1471-2229-11-85
- Pay, E. (2009). *The market for organic and fair-trade coffee*. Rome: FAO.
- Pinheiro, H. A., DaMatta, F. M., Chaves, A. R., Fontes, E. P., & Loureiro, M. E. (2004). Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant Science*, 167(6), 1307-1314. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.06.027>
- Silva, P. E., Cavatte, P. C., Morais, L. E., Medina, E. F., & DaMatta, F. M. (2013). The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: Implications for breeding aimed at improving drought tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 87, 49-57. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.09.005>
- Valladares, F., Sanchez-Gomez, D., & Zavala, M. (2006). Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology*, 94(6), 1103-1116. doi: 10.1111/j.1365-2745.2006.01176.x



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

