

Condiciones higrotermométricas en dos sistemas cafetaleros: Periodo marzo 2022 – febrero 2023

Hygrothermometrical conditions in two coffee production systems: Period March 202–February 2023

Giovanni Becerra Dávila ^a | Gustavo Ortiz Ceballos ^b
Juan Cervantes-Pérez ^c | Carlos Roberto Cerdán Cabrera ^d
Paulo César Parada-Molina ^e | Mario Alejandro Hernández-Chontal ^f

Recibido: 1 de julio de 2023.

Aceptado: 1 de abril de 2024.

^a Observatorio de la Cafecultura Veracruzana (OBSERVACAFÉ), Facultad de Instrumentación Electrónica, Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México. Contacto: giovabec1999@gmail.com | ORCID: [0009-0001-7718-2469](https://orcid.org/0009-0001-7718-2469)

^b Observatorio de la Cafecultura Veracruzana (OBSERVACAFÉ), Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México. Contacto: gusortiz@uv.mx | ORCID: [0000-0002-4979-0520](https://orcid.org/0000-0002-4979-0520)

^c Observatorio de la Cafecultura Veracruzana (OBSERVACAFÉ), Facultad de Instrumentación Electrónica, Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México. Contacto: jcervantes@uv.mx | ORCID: [0000-0002-1429-3348](https://orcid.org/0000-0002-1429-3348)

^d Observatorio de la Cafecultura Veracruzana (OBSERVACAFÉ), Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México. Contacto: ccerdan@uv.mx | ORCID: [0000-0002-0498-2617](https://orcid.org/0000-0002-0498-2617)

^e Observatorio de la Cafecultura Veracruzana (OBSERVACAFÉ), Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México. Contacto: pparada@uv.mx | ORCID: [0000-0001-9567-7142](https://orcid.org/0000-0001-9567-7142) *Autor para correspondencia.

^f Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana (UV). Xalapa, México. Contacto: mariohernandez03@uv.mx | ORCID: [0000-0002-9711-7971](https://orcid.org/0000-0002-9711-7971)

Cómo citar:

Becerra-Dávila, G., Ortiz-Ceballos, G., Cervantes-Pérez, J., Cerdán-Cabrera, C., Parada-Molina, P. y Hernández-Chontal, M. (2024). Condiciones higrotermométricas en dos sistemas cafetaleros: Periodo marzo 2022–febrero 2023. *UVserva*, (17), 47-56. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi17.2953>

Resumen: Una de las actividades del Observatorio de la Cafecultura Veracruzana (OBSERVA-CAFÉ) es dar seguimiento al monitoreo y generación de información de las condiciones agroclimáticas de sistemas de producción de café del estado de Veracruz. Por lo que este trabajo tuvo como objetivo analizar las condiciones higrotermométricas, a diferentes escalas temporales, en dos sistemas de producción de café de café bajo sombra: 1) Café-Nacaxtle (CE) y 2) Café-Chalahuite (CI). Se encontró, a escala anual, condiciones más cálidas y secas en el sistema productivo CI en comparación con CE. En la escala de análisis por temporadas, es más evidente durante DEF (temporada diciembre a febrero). Además, de acuerdo con los valores diurnos del DPV (déficit de presión de vapor), las plantas de café en ambos sistemas estudiados experimentaron periodos de déficit hídrico durante la temporada marzo a mayo (MAM). Esto podría ayudar a planear estrategias de mitigación del déficit hídrico, de acuerdo con las características particulares de cada sistema productivo, durante MAM.

Palabras clave: *Coffea arabica*; estrés hídrico; sistemas cafetaleros; temporadas.

Abstract: *One of the activities of the Observatory of Veracruz Coffee Growing (OBSERVA-CAFÉ), is to follow up on the monitoring and generation of information on the agroclimatic conditions of coffee production systems in the state of Veracruz. Therefore, this work aimed to analyze the hygrothermometric conditions at different time scales in two shade-cast coffee production systems; 1) Café-Nacaxtle (CE) and 2) Café-Chalahuite (CI). On an annual scale, warmer and drier conditions were found in the CI production system compared to EC. On the scale of analysis by seasons, it is most evident during DEF (season December to February). In addition, according to the diurnal values of the DPV (vapor pressure deficit), coffee plants experience periods of water deficit during the March to May season (MAM), in both systems studied. This could help to plan specific mitigation strategies, according to the particular characteristics of each production system, during MAM.*

Keywords: *Coffea arabica*; water stress; coffee systems; seasons.

Introducción

Actualmente, el café es uno de los productos agrícolas más comercializados a nivel mundial, siendo de gran valor económico, social y cultural. Si bien México es el undécimo productor mundial y uno de los mayores exportadores de café orgánico, su producción se ha reducido cerca del 40 % en los últimos 20 años (Rodríguez *et al.*, 2019); en Chiapas y Veracruz, principales estados productores de este aromático, no son la excepción.

De acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2022), la disminución en la producción de café en Veracruz fue de alrededor del 54 % del año 2000 al 2020 y, si bien la superficie sembrada sólo disminuyó un 5.2 %, los rendimientos se redujeron 48.3 %. Los cambios en las variables climáticas han influido

en ello (Pérez-Akaki y Echánove-Huacuja, 2006) así como los impactos de la roya del café (Libert y Paz, 2018; Talhinhos *et al.*, 2017); además de aspectos económicos como el incremento del 340 % del salario mínimo en 2020 con relación al del año 2001 (CONASAMI, 2021), incrementándose los costos de producción de café.

Coffea arabica es la especie de mayor producción mundial, incluido México, se ha cultivado tradicionalmente en sotobosque, bajo árboles nativos y variados (Ruiz-García *et al.*, 2022). Su cultivo y producción resultan afectados por las condiciones climáticas. Además, las condiciones ambientales en las que se desarrolla la planta del café también se ven moduladas por el tipo de cobertura arbórea que depende directamente de las especies empleadas en el sistema de producción bajo sombra (Parada-Molina *et al.*, 2021; Siles *et al.*, 2022).

Sin embargo, entre las prácticas para incrementar la producción de este cultivo se encuentra la reducción de la cobertura arbórea. Esta reducción altera las condiciones ambientales en las que se desarrollan las plantas y las exponen a diversos factores que podrían incidir de manera negativa en su desarrollo y producción. Entre estos, los cambios en las condiciones microclimáticas podrían conducir a un desarrollo limitado de este cultivo, afectando las cosechas; sin dejar de lado la generación de condiciones favorables para la proliferación de plagas y enfermedades.

Es por ello que los sistemas agroforestales cafetaleros resultan ser económicamente rentables, aun con la volatilidad de los precios, debido a que generan ingresos de variadas fuentes como materiales maderables provenientes de los árboles de sombra y productos derivados de la diversificación de cultivos (Moguel y Toledo, 1999).

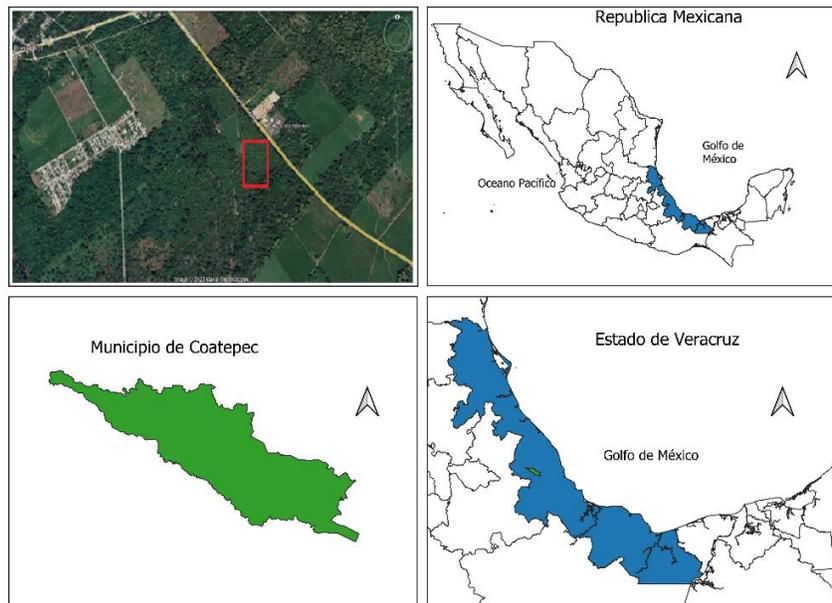
Ambientalmente los sistemas de producción tradicional intervienen en la conservación de la biodiversidad proveen servicios ambientales (Manson *et al.*, 2008; Perfecto y Vandermeer, 2015) y regulan las condiciones microclimáticas (Barradas y Fanjul, 1986; Charbonnier *et al.*, 2017).

Por lo anterior, como parte de las actividades del grupo de colaboradores del Observatorio de la Cafeticultura Veracruzana de la Universidad Veracruzana (OBSERVACAFE), se realiza el monitoreo y seguimiento de las condiciones ambientales al interior de dos sistemas de producción bajo sombra de diferentes especies arbóreas en el municipio Coatepec, Veracruz, México. Por ello, con el objetivo de fue evaluar las condiciones higrotermométricas en dos sistemas de producción de café (nacastle y chalahuite) bajo sombra. Esto con la finalidad de caracterizar los sistemas de producción, que permitan generar propuestas de manejo agronómico y de planeación, coadyuvando a la mejora la producción del cultivo de café.

1. Materiales y métodos

Este estudio se realizó en una finca cafetalera con dos sistemas de producción localizada a 19° 25' 52.3" N y 96° 53'44.3" W, en el municipio de Coatepec, Veracruz (México) a una altitud de 1042 m. s. n. m. (**Figura 1**). De acuerdo con la información climatológica proporcionada por estaciones del Servicio Meteorológico Nacional [SMN], (2022), se presenta un clima templado húmedo a semicálido húmedo con temperatura y precipitación media anual de 19.6 °C y 1800.8 mm respectivamente.

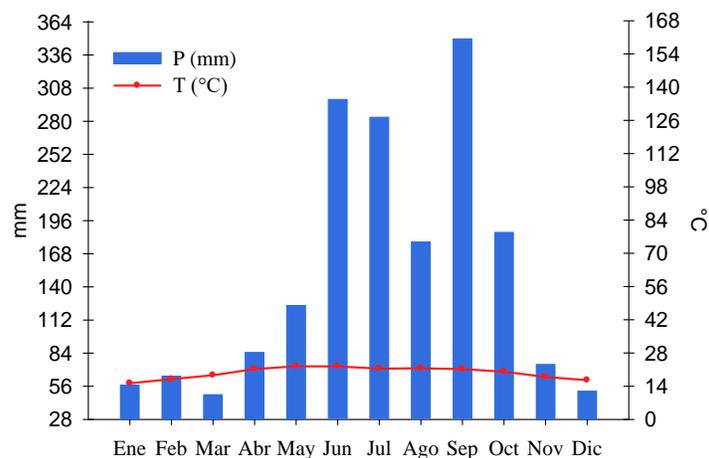
Figura 1
Localización del sitio de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] (2023).

Las temperaturas más altas se presentan en mayo y junio con valores de 22.4 °C y 22.3 °C, respectivamente; mientras que la precipitación presenta dos incrementos significativos durante junio y septiembre de 298.4 y 349.6 mm respectivamente, derivado del fenómeno de la canícula (**Figura 2**).

Figura 2
Diagrama ombrotérmico (climograma) para la estación 30026-Coatepec del periodo 1981 a 2010



Fuente: Elaboración propia a partir de las Normales climatológicas (SMN, 2022).

En esta finca, el café (*Coffea arabica*) se cultiva bajo árboles de sombra, principalmente *Inga vera* (Chalahuite) y *Enterolobium cyclocarpum* (Nacaxtle). Estos sistemas productivos, Café-Chalahuite (CI) y Café-Nacaxtle (CE), se equiparon con dos sensores (U23 Pro v2, Onset) para monitorear variables higrotermométricas: temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), amplitud térmica diaria (ΔT), humedad relativa (HR), al interior de cada sistema, por arriba de las plantas de café. El periodo analizado comprende marzo 2022 a febrero 2023. Dichas variables se miden cada 5 s, registrando el promedio cada 15 min.

Además, el déficit de presión de vapor se determinó como la diferencia entre la presión de vapor de agua actual y la presión de vapor de saturación mediante la siguiente ecuación (Allen et al., 2006):

$$DPV = e_s - e_a$$

Donde:

DPV=Déficit de presión de vapor (kPa)

e_s = Presión de vapor actual (kPa)

e_a = Presión de vapor de saturación (kPa)

La e_s fue determinada a partir de temperatura del aire (T, °C) y la e_a a partir de la humedad relativa (HR, %), mediante las siguientes ecuaciones, respectivamente (Allen et al., 2006):

$$e_s = 0.06105 \exp \left[\frac{17.27 T}{T + 237.5} \right] \quad e_a = e_s \left[\frac{HR}{100} \right]$$

Posteriormente, para cada variable, se calculó el promedio anual por temporada y a escala horaria (por temporada). Con relación a escala por temporada, ésta se consideró en intervalos de tres meses: marzo, abril y mayo (MAM); junio, julio y agosto (JJA); septiembre, octubre y noviembre (SON); y diciembre, enero y febrero (DEF).

El siguiente paso consistió en realizar un análisis exploratorio descriptivo de dichas variables a las distintas escalas temporales para ambos sistemas cafetaleros y, finalmente, para identificar diferencias significativas en las condiciones higrotermométricas, entre los dos sistemas de producción de café estudiados, se implementó la prueba de estadística de *t-student* a un nivel de confianza del 95 % utilizando el software *InfoStat*, 2020.

2. Resultados y discusión

El análisis de la información permitió identificar que, a escala anual, la temperatura máxima (Tmax), la humedad relativa (HR) y el déficit de presión de vapor (DPV) presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los dos sistemas de producción evaluados. Donde en el sistema de producción CE se registraron Tmax más alta (26.27 °C), HR más baja (86.26) y mayor DPV (0.42 kPa) que el sistema CI, durante el periodo analizado (**Tabla 1**).

Tabla 1

Valores medios (periodo marzo 202 – febrero 2023) de temperaturas media (*T*), máxima (*T*_{max}), mínima (*T*_{min}), amplitud térmica (ΔT), humedad relativa (*HR*) y déficit de presión de vapor (*DPV*), durante el periodo marzo 2022–febrero 2023, en dos sistemas de producción de café (Café-Chalahuite, *CI* y Café-Nacaxtle, *CE*)

Variable	Sistema de producción	
	CI	CE
T (°C)	19.98 ± 2.3	20.19 ± 2.22
T _{max} (°C)	25.78 ± 3.37	26.27 ± 3.33
T _{min} (°C)	15.28 ± 2.44	15.51 ± 2.4
ΔT (°C)	10.5 ± 3.46	10.75 ± 3.65
HR (%)	86.99 ± 6.43	86.26 ± 6.41
DPV (kPa)	0.39 ± 0.26	0.42 ± 0.25

Nota: Valores medios ± sd. En negritas valores que presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sistemas. Fuente: Elaboración propia.

Esto hace evidente el efecto de las especies arbóreas en la modulación de las condiciones higrotermométricas, donde la edad tiene un papel importante en la forma, altura y estructura de la copa de los árboles. En un estudio anterior, durante el periodo 2018-2021, Parada-Molina *et al.* (2021) reportaron diferencias a escala anual en *T*_{min}, ΔT y el *DPV*, presentándose condiciones menos extremas en el sistema *CE*; además, reportaron condiciones térmicas y de humedad más cálidas y secas, en comparación con el periodo actualmente evaluado (2022-2023).

Por temporada (**Tabla 2**), *MAM* no se identificaron diferencias significativas entre las condiciones higrotermométricas de los sistemas cafetaleros evaluados; en *JJA*, solo la *T*_{min}, aunque las diferencias de pequeña magnitud (~0.2 °C), caso similar se presentó para la *HR* en la temporada *JJA*. *DEF* fue la temporada con mayores diferencias significativas ($p < 0.05$) en las condiciones higrométricas entre ambos sistemas (Café-Chalahuite y Café-Nacaxtle), donde la *T*, *T*_{max}, ΔT y el *DPV* fueron significativamente mayores en el sistema *CE*, evidenciando una mayor demanda evapotranspirativa bajo el árbol de nacaxtle, en esta temporada. Esto difiere a lo reportado por Parada-Molina *et al.* (2021), donde *T*_{min} y ΔT presentaron diferencias significativas en las cuatro temporadas analizadas y *T*_{max} presentó diferencias significativas durante *MAM* y *DEF* ($p < 0.05$) y *DPV* presentó diferencias significativas en *MAM*, en los mismos sistemas de producción evaluados. Se identificó también la ocurrencia de *T*_{max} menos cálidas, *T*_{min} también menos cálidas, excepto en *MAM*; y un mayor *DPV*, durante el periodo analizado (2022-2023) en comparación con el periodo 2018-2021.

Tabla 2

Valores diarios medios de temperaturas media (*T*), máxima (*T*_{max}), mínima (*T*_{min}), amplitud térmica (ΔT), humedad relativa (*HR*) y déficit de presión de vapor (*DPV*), por temporada, en dos sistemas de producción de café (Café-Chalahuite, *CI* y Café-Nacaxtle, *CE*).

Variable	<i>MAM</i>		<i>JJA</i>		<i>SON</i>		<i>DEF</i>	
	CI	CE	CI	CE	CI	CE	CI	CE
T	23.1 ± 1.5	23.3 ± 0.9	21.5 ± 1.0	21.6 ± 1.0	19.8 ± 1.2	19.9 ± 1.2	17.2 ± 1.7	17.6 ± 1.8
T _{max}	29.8 ± 2.2	30.6 ± 1.1	27.7 ± 2.0	27.8 ± 2.0	24.5 ± 2.0	24.9 ± 2.1	23.5 ± 3.6	24.8 ± 4.2
T _{min}	15.9 ± 1.6	17.0 ± 1.0	16.5 ± 1.2	16.7 ± 1.1	15.9 ± 1.7	16.1 ± 1.6	12.1 ± 1.9	12.4 ± 1.9
ΔT	16.5 ± 2.2	13.6 ± 0.1	11.2 ± 2.3	11.0 ± 2.2	8.6 ± 2.7	8.8 ± 2.8	11.3 ± 4.4	12.4 ± 4.9

HR	71.7 ± 2.2	70.7 ± 2.7	85.0 ± 3.9	84.6 ± 3.7	91.6 ± 2.8	91.0 ± 2.9	86.7 ± 5.9	85.2 ± 6.2
DPV	0.87 ± 0.2	0.90 ± 0.1	0.47 ± 0.2	0.48 ± 0.1	0.23 ± 0.1	0.25 ± 0.1	0.35 ± 0.2	0.41 ± 0.2

Nota: Temporadas MAM (marzo a mayo); JJA (junio a agosto); SON (septiembre a noviembre); DEF (diciembre a febrero). Se presentan valores medios por temporada ± sd. En negritas variables con diferencias significativas entre sistemas cafetaleros por temporada ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

La variabilidad interanual también tuvo un papel importante en este sentido, donde la ocurrencia del fenómeno del Niño Oscilación del Sur, es considerado el principal fenómeno que influye en este tipo de variabilidad (Craparo *et al.*, 2015; Williams y Funk, 2011), en sus fases cálida (El Niño) y su fase fría (La Niña), producen cambios estacionales en la dinámica atmosférica que llega a afectar los patrones meteorológicos a escala regional y local.

Durante el periodo evaluado en este trabajo (2022-2023) se presentó el fenómeno de La Niña; mientras que, el periodo evaluado por Parada-Molina *et al.* (2021) se vio influenciado por los fenómenos de La Niña (ciclo productivo 2017-2018) y El Niño (ciclo productivo 2018-2019), difiriendo por esta razón con los resultados obtenidos, particularmente en la precipitación media anual.

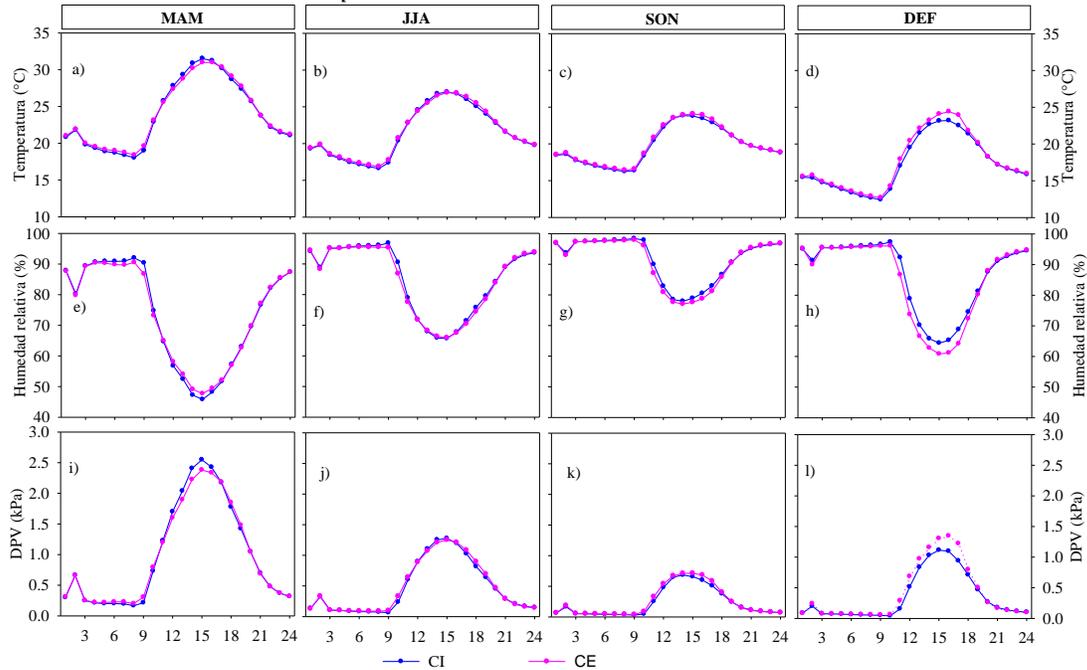
En cuanto a la oscilación diurna durante cada temporada (**Figura 1**), las bajas temperaturas parecen no ser limitante para el cultivo de café; durante MAM y JJA, se presentan temperaturas medias por arriba de la óptimas (23 °C) para *Coffea arabica*.

El DPV presento valores máximos entre las 13:00 y las 16:00 h en todas las temporadas, en ambos sistemas productivos. Solo durante MAM entre las 11:00 y las 18:00 se presentaron valores mayores 1.5 kPa (**Figura 3**), temporada en la que las plantas experimentarían periodos de estrés producidos por el calor, derivado en un déficit de agua (DaMatta y Ramalho, 2006; Oliveira *et al.*, 2009; Molina *et al.*, 2016).

Es importante resaltar que MAM es la temporada en la que ambos sistemas de producción de café analizados podrían estar experimentado periodos de estrés tanto térmico, por altas temperaturas e hídrico por déficit de agua.

Parecería que son dos casos diferentes, cuando las temperaturas están provocando el estrés hídrico. Si bien el café requiere un periodo de estrés hídrico, seguido de lluvias, para desencadenar la inflorescencia, la persistencia de condiciones cálidas y secas desencadenaría con efectos negativos en la productividad de las parcelas de café, afectando una fase fenológica prioritaria como lo es la floración.

Las estrategias de manejo del agua resultan cada vez más importantes en el sector agrícola, particularmente en las zonas cafetaleras, en las que se han proyectado cambios en la aptitud climática para el cultivo de café debido a la alteración de los patrones de lluvias y los cambios en las temperaturas.

Figura 3*Oscilación media diaria de temperatura*

Nota: Oscilación media diaria de temperatura media (T °C), humedad relativa (HR %) y déficit de presión de vapor (DPV kPa) durante las temporadas: diciembre a febrero (DEF), marzo a mayo (MAM), junio a agosto (JJA) y septiembre a noviembre (SON), del periodo marzo 2021 – febrero 2022, en café cultivado bajo *Inga vera* (Chalahuite) y *Enterolobium cyclocarpum* (Nacaxtle).

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los árboles de sombra permiten regular las condiciones higrotermimétricas en las que se desarrolla el cultivo de café; *Inga vera* (Chalahuite) presenta un mayor efecto amortiguador de las condiciones cálidas y secas en comparación con *Enterolobium cyclocarpum* (Nacaxtle), a escala anual. Efecto similar se presenta a escala de análisis por temporadas, siendo más evidente durante DEF.

Además, de acuerdo con los valores diurnos del DPV, las plantas de café en los dos sistemas de producción analizados, experimentan periodos de déficit hídrico durante MAM. Esto podría ayudar a planear estrategias de mitigación específicas de acuerdo a las características específicas de cada sistema productivo durante MAM.

Referencias

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio Riego y Drenaje* N° 56. FAO. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

- Barradas, V. y Fanjul, L. (1986).** Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38(1), 101-112 [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(86\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0168-1923(86)90052-3)
- Charbonnier, F., Roupsard, O., le Maire, G., Guillemot, J., Casanoves, F., Lacoite, A., Vaast, P., Allinne, C., Audebert, L., Cambou, A., Clément-Vidal, A., Defrenet, E., Duursma, R., Jarri, L., Jourdan, C., Khac, E., Leandro, P., Medlyn, B., Saint-André, L., Dreyer, E. (2017).** Increased light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. *Plant Cell and Environment*, 40(8), 1592-1608. <https://doi.org/10.1111/pce.12964>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2023).** *Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad.* <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONASAMI. (2021).** *Tabla de salarios mínimos generales y profesionales por áreas geográficas.* Gobierno de México. <https://tinyurl.com/42tm7xdu>
- Craparo, A., Van Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L. y Grab, S. (2015).** *Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.005>
- DaMatta, F. y Ramalho, C. (2006).** Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- Oliveira, L., Oliverira, R. y de Portes, T. (2009).** Comportamento fisiológico de cafeeiros submetidos a diferentes disponibilidades de água no solo. *Bioscience Journal*, 25(3), 83-91. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6927>
- Libert, A. y Paz, P. (2018).** Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del café en Chiapas. *Madera y Bosques*, 24(Núm esp.), 1-24. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401914>
- Manson, R., Sosa, V. y Contreras, A. (2008).** Biodiversidad: Efectos del manejo sobre la Conclusiones y síntesis. En R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (Eds.), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (279-302 pp.). Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Moguel, P. y Toledo, V. (1999).** Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13, 11-21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>
- Molina, V., Ramírez-Builes, V. y Cortina, G. (2016).** Comportamiento de accesiones de *Coffea arabica* sometidas a déficit de humedad del suelo. *Cenicafé*, 67(1), 41-54. <https://www.cenicafe.org/es/publications/2.Comportamiento.pdf>
- Parada-Molina, P., Cerdán-Cabrera, C. y Ortiz-Ceballos, G. (2021).** Condiciones microclimáticas en dos sistemas de producción de café. *UVserva*, 12, 24-29. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi12.2808>
- Pérez-Akaki, P. y Echánove-Huacuja, F. (2006).** Cadenas globales y café en México. *Cuadernos Geográficos*, 38(1), 69-86. <https://tinyurl.com/yc69yj5u>
- Perfecto, I. y Vandermeer, J. (2015).** *Coffee agroecology: a new approach to understanding agricultural biodiversity, ecosystem services and sustainable development.* Routledge.

- Rodríguez, T., Cárcamo, R. y Álvarez, A. (2019).** La opción de la producción orgánica ante la crisis del café: el caso de los pequeños productores de Chilón, Chiapas, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 19(37), 45-72.
<https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/409>
- Ruiz-García, P., Monterroso-Rivas, A., Valdés-Velarde, E., Escamilla-Prado, E. y Gómez-Díaz, J. (2022).** Reservas de carbono en sistemas agroforestales con café (*C. arabica L.*) ante el cambio climático: caso México. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 48671.
<https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48671>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2022).** *Sistema de Información Agroalimentaria y Consulta*. SIAP
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Siles, P., Cerdán, C. y Staver, C. (2022).** Smallholder Coffee in the Global Economy—A Framework to Explore Transformation Alternatives of Traditional Agroforestry for Greater Economic, Ecological, and Livelihood Viability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.808207>
- Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2022).** *Normales climatológicas por estación*. Estado de Veracruz: Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA.
<https://tinyurl.com/2s4993a4>
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A., Azinheira, H., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V. y Silva, M. (2017).** The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology*, 18(8), 1039–1051.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Williams, A. y Funk, C. (2011).** A westward extension of the warm pool leads to a westward extension of the Walker circulation, drying eastern Africa. *Climate Dynamics*, 37(11), 2417–2435. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0984-y>