Artículos de investigación

Efectos de la variabilidad de la precipitación en la fenología del café: caso zona cafetalera Xalapa-Coatepec, Veracruz, Mex.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
REVISTA INGENIERÍA Y REGIÓN

Effects of rainfall variability on coffee phenology: case Xalapa-Coatepec coffee zone, Ver. Mex

Parada-Molina, Paulo César; Cervantes-Pérez, Juan; Ruiz-Molina, Victoria Estefanía; Cerdán Cabrera, Carlos Roberto

Paulo César Parada-Molina pparada@uv.mx
Universidad Veracruzana, México
Juan Cervantes-Pérez jcervantes@uv.mx
Universidad Veracruzana, México
Victoria Estefanía Ruiz-Molina
veruizm@unal.edu.co
Universidad Veracruzana, México
Carlos Roberto Cerdán Cabrera ccerdan@uv.mx
Universidad Veracruzana, México

Ingeniería y Región
Universidad Surcolombiana, Colombia
ISSN: 1657-6985
ISSN-e: 2216-1325
Periodicidad: Semestral
vol. 24, 2020
ingenieriayregion@usco.edu.co

Recepción: 18 Octubre 2020
Aprobación: 23 Noviembre 2020

URL: http://portal.amelica.org/ameli/journal/238/2382461007/

DOI: https://doi.org/10.25054/22161325.2752

Autor de correspondencia: jcervantes@uv.mx

Resumen: La disponibilidad de agua es un factor prioritario para la agricultura. La precipitación es la principal fuente hídrica de cultivos perennes como el café; sin embargo, el cambio en la distribución de la precipitación, debida a la variabilidad climática, podría repercutir en su desarrollo ya que el cultivo de café ha demostrado ser sensible a cambios en los patrones del clima. Por ello, el objetivo de este trabajo fue identificar el efecto de la variabilidad de la precipitación en la fenología del café (*Coffea arabica*) a partir de un estudio de caso en la zona cafetalera Xalapa-Coatepec, Veracruz (México). Se delimitó una parcela de café (*var. Garnica*) bajo sombra (*Acrocarpus fraxinifolius*) (19.51998° N, 96.94339° W; 1320 msnm). Se realizaron observaciones semanalmente, a 30 plantas de café (una rama plagiotrófica) para determinar inicio y duración de las fases fenológicas. Se midieron variables microclimáticas con una estación meteorológica automática (Davis Vantage Pro2TM). Se instaló un pluviómetro automatizado (HOBO Onset) a 30 m de la parcela experimental, en un sitio abierto. El monitoreo se realizó durante dos ciclos productivos (mayo 2017 a mayo 2019). Se relacionaron las variables fenológicas con las condiciones pluviométricas. El periodo evaluado se vio influenciado por los fenómenos de La Niña (ciclo productivo 2017-2018) y El Niño (ciclo productivo 2018-2019), presentándose precipitaciones por arriba y por debajo de la media anual, respectivamente. Las fases de floración, crecimiento y llenado y maduración se correlacionaron positivamente ($p<0.05$) con la precipitación; las temperaturas máxima y mínima también tienen gran influencia sobre las fases fenológicas del café. El monitoreo de las condiciones pluviométricas y su variabilidad permitirá planear e implementar estrategias para reducir los efectos de los periodos de secas.

Palabras clave: fases fenológicas, Coffea arabica, variabilidad climática.

Abstract: The availability of water is a priority factor for agriculture. The precipitation is the main water source for perennial crops such as coffee; however, the change in the distribution of precipitation, due to climatic variability, could affect its development, since coffee cultivation has been shown to be sensitive to changes in weather patterns. Therefore, the

objective of this research was to identify the effect of precipitation variability on coffee phenology (*Coffea arabica*) from a case study in the Xalapa-Coatepec coffee zone, Veracruz (Mexico). A plot of shade coffee (var. Garnica with trees Acrocarpus fraxinifolius) was delimited (19.51998° N, 96.94339° W; 1320 m asl). Weekly observations were made of 30 coffee plants (one plagiotrophic branch) to determine the start and duration of the phenological phases. Microclimatic variables were measured with an automatic weather station (Davis Vantage). An automated rain gauge (HOBO Onset) was installed 30 m from the experimental plot, in an open site. The monitoring was carried out during two production periods (May 2017 to May 2019). The phenological variables were related to rainfall conditions. The evaluated period was influenced by the phenomena of La Niña (productive period 2017-2018) and El Niño (productive period 2018-2019), presenting rainfall above and below the annual average, respectively. The flowering, fruit growth and development and ripening phases correlated positively ($p<0.05$) with precipitation; maximum and minimum temperatures also have a great influence on the phenological phases of coffee. The monitoring of the rainfall conditions and their variability will allow planning and implementing strategies to reduce the effects of dry periods.

Keywords: phenological phases, Coffea arabica, climatic variability.

1. Introducción

La variabilidad climática ha ocasionado efectos negativos a los sistemas de producción agrícola, debilitando plantaciones y generando pérdidas en la producción agrícola (Nelson, *et al*., 2014). Los efectos difieren entre cultivos y regiones, y han sido reportados a diferentes escalas espaciales (Sarvina, *et al.*, 2020). El Niño-oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), considerado el principal fenómeno que influye en la variabilidad interanual del clima (Williams y Funk, 2011; Craparo, *et al*., 2015), está asociado a eventos de sequía o exceso de lluvias a escala estacional (Conde, *et al.*, 2013).

Particularmente el café (*Coffea arabica*), uno de los principales productos negociados en los mercados del mundo es sensible a cambios en los patrones del clima (Rivera-Silva, *et al*., 2013). La variabilidad climática conduce la dinámica de su producción (Camargo 2010; Pham, *et al*., 2019); por lo que lo hace vulnerable (Bacon, *et al*., 2017), dado que la floración y la fructificación están estrechamente ligadas a la distribución de periodos húmedos y secos, la temperatura del aire y los fotoperiodos (Ramírez, *et al*., 2010); por ello, la variabilidad climática modula los ciclos productivos de café (Camargo 2010; Allou, *et al.*, 2018; Pham, *et al.*, 2019).

La variabilidad de precipitación es una característica de las regiones productoras de café, donde Veracruz ocupa el segundo lugar con mayor producción de café en México, de acuerdo con Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Sin embargo, cambios drásticos en la cantidad, intensidad y frecuencia de eventos de precipitación influyen en la disponibilidad de agua para el desarrollo de los cultivos (Zarazúa, *et al.*, 2014).

Christman, *et al*., (2016) y De Beurs y Henebry (2005) señalan efectos en la duración y el inicio de las temporadas de los cultivos en todo el mundo debido a la variabilidad interanual del clima. La percepción de dicha variabilidad es cada vez más evidente para los productores que han detectado cambios en el inicio y patrón de las lluvias, lo que les ha permitido adoptar estrategias para mitigar sus efectos (Chengappa, *et al*., 2017).

Este trabajo tuvo como objetivo identificar el efecto de la variabilidad de la precipitación en la fenología del café (*Coffea arabica*) en la zona cafetalera Xalapa-Coatepec, Veracruz, México durante los ciclos 2017-2018 y 2018-2019. Esto permitiría establecer estrategias de manejo para ayudar en la mitigación del impacto del clima en los sistemas de producción cafetalera.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en una finca cafetalera (19.51998° N, 96.94339° W) ubicada en la zona cafetera Xalapa-Coatepec, Veracruz, México, a una elevación de 1320 msnm. La elección de la finca se hizo mediante criterios de selección, para el caso específico de la investigación: la cercanía con una estación meteorológica automática, permiso de ingreso al predio, área de cultivo mayor a 1 ha en café, presencia de sombrío en el mismo y encontrarse dentro de la zona cafetalera de Xalapa-Coatepec. El predio se caracteriza por el cultivo de distintas variedades de *Coffea arabica L*., bajo sistema agroforestal (SAF). Presenta clima templado húmedo a semicálido húmedo, con precipitaciones entre 1400 a 1800 mm distribuidos a través de todo el año y una temperatura media anual entre 17 y 19.5 °C (Servicio Meteorológico Nacional-SMN, 2020).

2.2 Seguimiento fenológico y variables microclimáticas

Se delimitó una parcela de 40 m x 60 m de un SAF de *Coffea arabica L. var. Garnica* y árboles de sombra *Acrocarpus fraxinifolius* (cedro rosado), especie de rápido crecimiento introducida de la India. A partir de ésta área definida se hizo una selección completamente al azar de 30 plantas con una edad aproximada de 15 años. En cada planta se seleccionó y etiquetó una rama plagiotrópica con orientación hacia el norte. Las ramas fueron monitoreadas semanalmente para identificar el día juliano de inicio de las fases fenológicas: floración (N_{F_i}), crecimiento y llenado (N_{L1_i}), maduración (N_{M_i}) y cosecha (N_{C_i}); así como la duración en semanas de las fases fenológicas (f_{sem}), floración (desde yemas de inflorescencias hasta la mayor expresión floral), crecimiento y llenado (después de la floración hasta frutos de color verde oscuro), maduración (inicio de frutos coloreados hasta frutos de color rojo) y cosecha (desde la primera cosecha) durante el periodo mayo de 2017 a mayo 2019. Para complementar el periodo de floración del ciclo productivo 2017-2018, se consultó a los productores de la finca para determinar el inicio de esta fase. Además, se midieron variables microclimáticas con una estación meteorológica automática (Davis Vantage Pro2 ^{TM}).

Se instaló un pluviómetro automatizado (HOBO Onset) a 30 m de la parcela experimental, en un sitio abierto. El monitoreo se realizó durante mayo 2017 a mayo 2019, incluyendo dos ciclos productivos. Para complementar la serie de datos de precipitación del ciclo 2017-2018 se tomaron los datos de precipitación de la estación climatológica Briones, localizada a menos de 500 m de la parcela de estudio, con la finalidad de incluir la bianualidad del cultivo de café. Se determinó la precipitación total en cada ciclo productivo, mensual y acumulada en cada fase fenológica: floración, crecimiento y llenado, maduración, y el periodo de cosecha (P_F, P_{L1}, P_M y P_C, respectivamente); además de la temperatura máxima (T_{max}) y mínima (T_{min}) durante cada fase.

2.3 Análisis estadístico

Para el análisis se utilizó el programa estadístico InfoStat. Usando el test de Shapiro-Wilk (Pedrosa-Correo, *et al*., 2015) se contrastó la normalidad de los datos, posteriormente se realizó un análisis exploratorio-descriptivo de las variables fenológicas y microclimáticas. Se correlacionaron las variables microclimáticas y fenológicas mediante el cálculo del coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman (α=0.05), dado que el comportamiento de los datos no siguió la distribución normal. Las correlaciones se asociaron con la variabilidad ocasionada por el fenómeno ENSO durante el periodo analizado.

3. Resultados y discusión

3.1 Duración de fases fenológicas

La floración se inició el día juliano promedio, $N_{F_i\ (2017\text{-}2018)}$ 50.9 (DE: 10.2) y $N_{F_i\ (2018\text{-}2019)}$ 59.5 (DE: 10.2), teniendo una duración de ~9 semanas en ambos ciclos productivos. Para la fase de crecimiento y llenado, el $N_{LL_i\ (2017\text{-}2018)}$ fue 114.9 (SD: 10.2) prolongándose 25.7 semanas; el $N_{LL_i\ (2018\text{-}2019)}$ fue 113.9 (SD: 10.8) y se extendió 27 semanas. Para la fase de maduración, $N_{M_i\ (2017\text{-}2018)}$ se presentó el día 296.5 (SD: 11), con una duración de 6.7 semanas; $N_{M_i\ (2018\text{-}2019)}$ fue el día 301.5 (SD: 10.4) y se extendió 7. 9 semanas. Para el periodo de cosecha, $N_{C_i\ (2017\text{-}2018)}$ fue 344.1 (SD: 4.3) y $N_{C_i\ (2018\text{-}2019)}$ fue 351.9 (SD: 4.5), prolongándose en ambos ciclos ~10 semanas.

Durante el ciclo productivo 2017-2018 el fin de la cosecha se alcanzó ~42 semanas después de la floración y durante el ciclo 2018-2019 se alcanzó ~45 semanas después de la floración. De acuerdo con Arcila (2007) y Barva (2011), la maduración demora alrededor de 32 semanas después de la floración, sin embargo en condiciones cálidas este proceso se reduce y en condiciones más templadas se prolonga. En Filipinas, con temperatura media de 27.6°C, se ha reportado una duración de 38 semanas desde la antesis hasta la maduración para Coffea arabica (Salazar, *et al*., 2017); en Brasil, para cultivares de Mundo Novo, bajo la influencia de temperaturas medias mayores a 22.5 °C, la duración osciló entre 28 y 35 semanas (Pezzopane, *et al*., 2012, 2008).

3.2 Características microclimáticas

Durante el ciclo productivo 2018-2019 la temperatura máxima (27.8 °C) y mínima promedio (9.8 °C) fueron 1.1 °C y 1.3 °C mayores que durante el ciclo 2017-2018, respectivamente. La precipitación en los ciclos productivos 2017-2018 y 2018-2019 fue de 2032.7 mm y 1583.4 mm, correspondientemente. Durante el ciclo 2018-2019 la sequía intraestival (julio) fue muy intensa; la sequía preestival no estuvo tan marcada, donde la precipitación en diciembre estuvo por arriba del valor medio de la zona (60 mm), además fue invierno con temperaturas mínimas por debajo de 7 °C (figura 1).

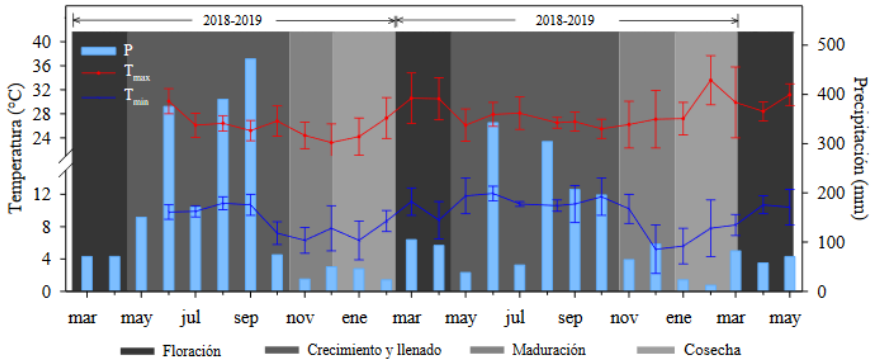

Figura 1.

Figura 1. Distribución mensual de la precipitación (P), temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) y durante el los ciclos productivos 2017-2018 y 2018-2019

Durante cada fase fenológica, las Tmax y Tmin estuvieron dentro del rango de los requerimientos agroclimáticos del café durante los dos ciclos productivos analizados. La precipitación durante cada fase presentó diferencias principalmente durante las fases de crecimiento y llenado y maduración (Tabla 1).

Tabla 1.

Tabla 1. Variables microclimáticas asociadas a cada fase fenológica de *Coffea arabica L. var. Garnica*

Ciclo productivo	Fase fenológica	P (mm)		Tmax (°C)		Tmin (°C)	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE
2017-2018	Floración	204.4	36.9	27.5	3.0	9.3	2.1
	Crecimiento y llenado	1684.1	33.7	27.3	2.0	10.0	1.5
	Maduración	73.4	6.9	23.8	0.8	7.1	1.1
	Cosecha	70.8	21.0	24.9	2.1	7.6	1.2
2018-2019	Floración	188.5	25.2	29.5	1.9	9.5	1.4
	Crecimiento y llenado	1198.8	46.9	26.8	1.0	11.3	0.6
	Maduración	160.3	55.0	26.7	0.6	7.7	1.4
	Cosecha	35.8	37.7	29.5	3.1	6.7	1.5

Dónde: P (mm) es la precipitación en milímetros durante las etapas fenológicas estudiadas. Tmax la temperatura máxima y Tmin la temperatura mínima (°C) en los periodos de evaluación. DE, desviación estándar de cada una de las fases.

3.3 Variabilidad y fenología del café

El periodo de floración (F_{sem}) se correlacionó significativamente ($p<0.001$) con la P_F. La duración de la fase de crecimiento y llenado ($L1_{sem}$) y maduración (M_{sem}) se correlacionaron positivamente con la P_{L1} y P_M, respectivamente ($p<0.05$); un incremento en la precipitación podría extender estas fases. Además, el inicio de la maduración (N_{M_i}) y la T_{min_M} y el periodo de cosecha (C_{sem}) y la T_{min_C}, se correlacionaron negativamente ($p<0.05$); por lo que bajas temperaturas retrasarían el inicio de la maduración, prolongando el crecimiento y llenado, aumentando la duración de la cosecha (Tabla 2).

Tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Spearman (r) entre la Temperatura máxima y mínima y la precipitación y el inicio (N*f_i*) y duración (*f*sem) de las fases fenológicas para *Coffea arabica L. var Garnica*

	Pf	Tmaxf	Tminf
Floración			
NF_i	-0.21	-0.21	0.33
Fsem	0.82***	0.01	0.37
Crecimiento y llenado			
NLl_i	-0.67	0.49*	0.35
Llsem	0.83***	-0.58*	-0.77*
Maduración			
NM_i	-0.47	-0.66**	-0.75*
Msem	0.51*	0.18	0.12
Cosecha			
NC_i	-0.68	0.35	0.69**
Csem	0.24	0.01	-0.86**

Dónde: F, es floración; Ll, crecimiento y llenado; M, maduración; C, cosecha; f= cada fase. Relaciones estadísticamente significativas *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001

El periodo evaluado se vio influenciado por el fenómeno del ENSO; en su fase fría, la Niña (ciclo productivo 2017-2018); en su fase cálida, El Niño (ciclo productivo 2018-2019). Este fenómeno influye en gran medida en la variabilidad de la precipitación en México (Seager, *et al.*, 2009; Tejeda, *et al.*, 2011), presentándose precipitaciones por arriba y por debajo de la media anual, respectivamente.

Durante la época invernal (diciembre-febrero) del periodo productivo 2017-2018, las condiciones pluviométricas estuvieron influenciadas por el fenómeno de La Niña, presentándose una marcada sequía preestival, condiciones características bajo la influencia de este fenómeno. El inicio de las lluvias (marzo), que se presentó posteriormente a este periodo seco, podría haber favorecido a la mayor presencia de floración, lo que estaría relacionado con una mayor producción durante este ciclo productivo.

En el ciclo productivo 2018-2019 se presentó una sequía intraestival o canícula muy intensa. Este ciclo, se vio influenciado por el fenómeno de El Niño, que entre los efectos que ocasiona, resalta la intensidad de los periodos de sequía (Magaña, *et al*., 2003) junto con veranos secos y cálidos (NOAA, 2008; Torres, *et al*., 2010). Para la región montañosa central del estado de Veracruz, la intensidad de la sequía intraestival (canícula) se incrementa fuertemente con la ocurrencia de este fenómeno (Ruíz, *et al.*, 2010), impactando negativamente en la producción de

café ya que se presentan durante el llenado del fruto, teniendo diferentes efectos en el desarrollo del fruto, como que el grano no crezca, que se desarrolle vacío o que se forme sólo parcialmente (Villers, *et al.*, 2009; Craparo, *et al.*, 2015).

Durante la época invernal, que coincide con las fase de maduración y el periodo de cosecha El Niño está relacionado con el aumento de lluvias y descenso de la temperatura por una mayor incidencia de frentes fríos, ocasionada por el desplazamiento hacia el sur de la corriente en chorro de latitudes medias (Ponnette, *et al.*, 2010). Estas variaciones interanuales en la cantidad de precipitación invernal es de gran importancia agrícola para la zona de estudio, ya que Veracruz el segundo estado productor de café en el país ha sido ampliamente afectado por el estrés hídrico dado por falta de humedad durante el periodo invernal, estimulando la floración y el brote de yemas en las plantas de café (Ruelas, Nava, Cervantes, & Barradas, 2014). Sin embargo, el exceso de agua debido al incremento en la precipitación afecta el desarrollo del café presentándose anomalías de floraciones anticipadas y dispersas, e incrementando los periodos de maduración y cosecha (Ramírez, *et al*., 2011). Las temperaturas mínimas registradas durante diciembre y enero del mismo ciclo productivo, podrían haber reforzado el retraso de la maduración y como consecuencia que la cosecha se recorriera hasta principios de marzo del 2019, ya que temperaturas por debajo de 7 °C forman problemas de clorosis, paralización del crecimiento de la planta y una maduración tardía (Villers, *et al*., 2009; Craparo, *et al*., 2015).

Si bien, la variabilidad interanual de la precipitación afecta las fases fenológicas de Coffea arabica, dichos efectos también están relacionados con otras variables como la temperatura máxima, temperatura mínima, humedad y otras; por lo que el aumento de las variables de análisis permitiría conocer a mayor detalle los efectos. Sin embargo, los resultados presentados en este trabajo buscan aportar información que permita crear y aplicar estrategias de manejo, en el contexto que caracteriza el área de estudio, para garantizar la demanda de agua de los sistemas de producción cafetalera.

4. Conclusiones

La fenología de Coffea arabica se ve afectada por la variabilidad de la precipitación. Las fases de floración, crecimiento, llenado y maduración se correlacionaron directamente con la precipitación, sin embargo, los efectos de variables como la temperatura mínima y la temperatura máxima también son importantes.

La variabilidad interanual de la precipitación ocasionada por el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur en su fase fría (La Niña) y su fase cálida (La Niña) generaron los efectos más evidentes en la fenología del café.

El monitoreo de las condiciones pluviométricas y su variabilidad permitirá planear e implementar estrategias para reducir los efectos de los periodos de secas.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACyT por la beca de posgrado número 464617 otorgada para realizar este proyecto y a la Finca la Herradura cafetal sustentable por la disposición y facilidades para realizar esta investigación.

Referencias bibliográficas

Allou-Allou, A., Trejo-García, J.C., Martínez-García, M.Á., 2018. Opción climática para la producción de café en México. Ensayos Revista de Economía, 37(2), 135–154. https://doi.org/10.29105/ensayos37.2-1

Arcila P.J., 2007. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. Sistemas de producción de café en Colombia. Colombia: CENICAFE. Consultado el 25 de agosto del 2020. https://cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf. https://doi.org/10.38141/10778/1121

Bacon, C.M., Sundstrom,W.A., Stewart, I.T., Beezer, D., 2017. Vulnerability to cumulative hazards: coping with the coffee leaf rust outbreak, drought, and food insecurity in Nicaragua. World Development, 93, 136-152. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.025

Barva H., 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Café. San José: AGRIS, Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). Consultado el 25 de agosto del 2020. http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf. https://doi.org/10.2307/j.ctvc5pd2j.6

Camargo, M.B., 2010. The impact of climate variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. Bragantia, 69(1), 239-247. https://doi.org/10.1590/s0006-87052010000100030

Chengappa, P.G., Devika, C.M., Rudragouda, C.S., 2017. Climate variability and mitigation: perceptions and strategies adopted by traditional coffee growers in India. Climate and Development, 9(7), 593-604. https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1318740

Christman, Z., Rogan, J., Eastman, J.R., Turner, B.L., 2016. Distinguishing land change from natural variability and uncertainty in central Mexico with MODIS EVI, TRMM precipitation, and MODIS LST data. Remote Sensing, 8(6), 478. https://doi.org/10.3390/rs8060478

Conde, C., Vinocur, M., Gay-García, C., Seiler, R., Estrada, F., 2013. Climatic threat spaces in Mexico and Argentina. Climate change and vulnerability and adaptation. Leary N., Conde c., Kulkarni J., Nyong A., Adejuwon J., Barros V., Burton I., Lasco R y Pulhin J Ed., Reino Unido, 279-306. https://doi.org/10.4324/9781849770811

Craparo, A.C., Van-Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L.T., Grab, S.W., 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

De Beurs, K.M., Henebry, G.M., 2005. Land surface phenology and temperature variation in the International Geosphere-Biosphere Program high-latitude transects. Global Change Biology, 11(5), 779-790. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00949.x

Magaña, R.V., Vázquez, J.L., Pérez, J.L., Pérez, J.B., 2003. Impact of El Niño on precipitation in México. Geofísica Internacional, 42(3), 313–330.

Nelson, G., Valin, H., Sands, R., Havlík, P., Ahammad, H., Deryng, D., Elliott, J., Fujimori, S., Hasegawa, T., Heyhoe, E., Kyle, P., Von Lampe, M., Lotze-Campen, H., Mason, D., Van Meijl, H., Van Der Mensbrugghe, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Schmid, E., Schmitz, C., Tabeau, A., Willenbockel, D., 2014. Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(9), 3274-3279. https://doi.org/10.1073/pnas.1222465110

NOAA [National Oceanic and Atmospheric Administration], 2008. Earth System Research Laboratory: El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Consultado el 21 de agosto de 2020.http://www.cdc.noaa.gov/enso/

Pedrosa-Correo, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro-Correo, J., García-Cueto, E., 2015. Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? Universitas Psychologica, 14(1), 15–24. https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy

Pezzopane, J.R., Júnior, P., José, M., Camargo, M.B., Fazuoli, L.C., 2008. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. Ciencia e Agrotecnologia, 32(6), 1781-1786. https://doi.org/10.1007/s00484-011-0486-6

Pezzopane, J.R., Salva, T., Lima, V., Fazuoli, L.C., 2012. Agrometeorological parameters for prediction of the maturation period of Arabica coffee cultivars. International journal of Biometeorology, 56(5), 843-851.

Pham, Y., Reardon-Smith, K. Cockfield, G., 2019. The impact of climate change and variability on the Coffee Production: a systematic review. Climate Change. 24(2), 173-188. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y

Ponnette-González, A.G., Weathers, K.C., & Curran, L.M., 2010. Water inputs across a tropical montane landscape in Veracruz, Mexico: synergistic effects of land cover, rain and fog seasonality, and interannual precipitation variability. Global Change Biology, 16(3), 946-963. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01985.x

Ramírez, V., Jaramillo, A., Arcila, J., 2010. Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. Cenicafé, 61(1), 55-66.

Ramírez, V., Arcila, J., Jaramillo, R.Á., Rendón, S.J., Cuesta, G.G., García, L.J., Menza, F.H., Mejía, M.C., Montoya, D.F., Mejía, M.J., Torres, N.J., Sánchez, A.P., Baute, B.J., Peña, Q.A., 2011. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. Colombia: CENICAFE. Consultado el 25 de septiembre del 2020. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/333/1/avt0407.pdf. https://doi.org/10.38141/10778/1121

Rivera-Silva, M.D.R., Gavrilov, I.N., Castillo-Álvarez, M., Ordaz-Chaparro, V. M., Díaz-Padilla, G., Guajardo-Panes, R.A., 2013. Vulnerability of Coffee Production (Coffea arabica L.) to Global Climate Change. Terra Latinoamericana, 31(4), 305–313.

Ruelas-Monjardín, L.C., Nava-Tablada, M.E., Cervantes, P.J., Barradas, M.V., 2014. Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. Madera y Bosques, 20(3), 27–40. https://doi.org/10.21829/myb.2014.203149

Ruíz-Barradas A., Tejeda-Martínez A., Miranda-Alonso S., Flores-Zamudio R.H., 2010. Climatología. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Benítez-Badillo, G. y Welsh C Ed., México, 65-84.

Salazar, B.M., Gunda, D.M., Lagrimas, A.J., Santos, P.J., Del Rosario, E.E., 2017. Characterization of reproductive phenology of four coffee (Coffea spp.) species in the Philippines using the BBCH scale. Philippine Journal of Crop Science (Philippines), 44(3):10-19.

Sarvina, Y., June, T., Surmaini, E., Nurmalina, R., Hadi, S., 2020. Strategi Peningkatan Produktivitas Kopi serta Adaptasi terhadap Variabilitas dan Perubahan Iklim melalui Kalender Budidaya. Jurnal Sumberdaya Lahan, 14(2), 65-78. https://doi.org/10.21082/jsdl.v14n2.2020.65-78

Seager, R., Ting, M., Davis, M., Cane, M., Naik, N., Nakamura, J., Li, C., Cook, E., Stahle, D., 2009. Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. Atmósfera, 22(1), 1–13.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2020. Normales climatológicas. Consultado el de agosto del 2020. http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=ver

Tejeda-Martínez, A., Torres-Alavez J.A., Ruiz-Barradas A., Miranda A.S., Salazar L.S., 2011. Evaluations and perceptions of the climate change in the State of Veracruz: an overview: Climate change: socioeconomic effects. Blanco J. y Kherandmand H. Ed., Croacia, 131-155. https://doi.org/10.5772/23398

Torres-Alavez J.A., Tejeda M.A., Vázquez A.J., Brunet I.M., Hernández A.P., Ruiz B.A., 2010. Índices de cambio climático y análisis de variabilidad en el estado de Veracruz, México: Ciudad, clima y ecosistemas. Fernández-García F., Galán-Gallego E. y R. Cañada-Torrecilla Ed., España, 295-304.

Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., Hernández, J., 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. Interciencia, 34(5), 322–329. https://doi.org/10.4060/ca7134es

Williams, A.P., 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(11-12), 2417-2435. https://doi.org/10.1007/s00382-010-0984-y

Zarazúa, V.P., Ruiz, C.J., Ramírez, O.G., Medina, G.G., Rodríguez, M.V., De la Mora, O.C., Flores, L.H., Durán, P.N., 2014. Índices de extremos térmicos en las Llanuras Costeras del Golfo Sur en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (10), 1843-1857. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i10.1021

Notas de autor

jcervantes@uv.mx