

Impact of climatic change on the adaptation of coffee (*Coffea arabica* L.) crops in Tabasco, Mexico

Impacto del cambio climático en la adaptación del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en Tabasco, México

Aceves-Navarro Lorenzo Armando¹; Rivera-Hernández Benigno^{2*}; Santillán-Fernández Alberto³; Arrieta-Rivera Agrícola⁴; Juárez-López José Francisco¹; Gutiérrez-Burón Roberto³

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 3.5. C. P. 86500. Cárdenas, Tabasco. México. ²Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, km 2.0, R/a Pazo y Playa, Cárdenas, Tabasco. ³Colegio de Postgraduados-Campus Campeche. km 17.5 Carretera federal Haltunchén-Edzná. C.P. 24450, Sihochac, Champotón, Campeche. México. ⁴Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca. Prol. Ignacio Zaragoza S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México.

*Autor para correspondencia: benigno_1973@hotmail.com

ABSTRACT

Objective: determine the areas most suitable for growing coffee (*Coffea arabica* L.) in Tabasco, Mexico, as well as their current potential yield, projecting their redistribution for the year 2050 under a climate change scenario, and the impact on future yields.

Design/methodology/approach: the FAO AgroEcological Zoning (AEZ) methodology was used to define the best areas to grow coffee and to estimate their potential yield in Tabasco state under current era and on a future climate change scenario for the year 2050 (FAO, 1981). The AEZ performed for the 2050 year takes in account a 1.6 °C increment in the mean daily temperature for the selected climatic stations in the present study.

Results: the resulting overlapping map of soil and climate most suitable potential areas shows that in Tabasco coffee has been grown in not optimal agro ecological conditions. Actually the more suitable and optimal areas for arabic type coffee in Tabasco covers a 59,400.24 ha out of the existing total 2,034,227.52 ha.

Limitations of study/implications: there is a large group of new coffee clones in Mexico which leaf area and harvest index are unknown, getting hard to estimate their potential yields.

Findings/conclusions: in the year 2050, under the worst climatic change scenario, the actual best potential areas to grow coffee in Tabasco will be reduced in 96.42% and their potential yields will also be reduced in 67% compared to the actual potential yields.

Key words: climate, crops, zoning, potential yields.

RESUMEN

Objetivo: determinar las áreas más aptas para cultivar café (*Coffea arabica* L.) en Tabasco, México, así como su rendimiento potencial actual, proyectando su redistribución para el año 2050, bajo un escenario de cambio climático, e impacto sobre los rendimientos futuros.

Diseño/ Metodología/ Aproximación: para la Zonificación Agro-Ecológica (ZAE) y la estimación de los rendimientos potenciales del café en el estado de Tabasco en la época actual y para el año 2050 se siguió el procedimiento propuesto por la FAO (FAO, 1981). La ZAE para el año 2050 se realizó incrementando en 1.6 °C las temperaturas promedio diarias de las estaciones climatológicas selectas.

Resultados: el álgebra de mapa de las zonas con alto potencial climático y las zonas con alto potencial edafológico, indica que, en Tabasco se ha estado cultivando café en zonas que no son óptimas. Las áreas óptimas para café arábigo se reducen a solo 59,400.24 ha de las 2,034,227.52 ha que bajo las condiciones climáticas actuales existen.

Limitaciones del estudio/ implicaciones: hay una amplia variedad de clones de café en México, de los cuales se desconoce el índice de área foliar e índice de cosecha, lo que dificulta estimar los rendimientos potenciales actuales.

Hallazgos/ conclusiones: bajo el peor escenario de cambio climático, se reducirá en 92.46% las actuales áreas edafoclimáticas más aptas. El rendimiento potencial estimado actual para el café tipo arábigo, bajo el escenario de cambio climático para el año 2050, se verá reducido en 67% promedio.

Palabras clave: clima, cultivo, zonificación, rendimiento potencial.

margo, 2010; Craparo et al., 2015). Debido a lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo determinar la ubicación actual de las áreas más aptas para cultivar café para Tabasco y su redistribución para el año 2050, bajo el peor escenario de cambio climático (A2 hoy RCP8.5), y determinar el impacto sobre los rendimientos actuales y futuros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la Zonificación Agro-Ecológica (ZAE) del cultivo de café Tabasco en la época actual, como para el año 2050 se siguió el procedimiento propuesto por la FAO (FAO, 1981).

Definición de los requerimientos bioclimáticos óptimos (clima y suelo) para el cultivo de café tipo arábigo

Las principales variables que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivo para el cultivo de café arábigo fueron: clima (Cuadro 1) y suelo (Cuadro 2); por la relación directa que guardan con el rendimiento del cultivo.

Acopio de datos climatológicos y edafológicos

La información climática requerida en el estudio se extrajo de la base de

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo estratégico para México, tiene importancia económica, social, cultural y ecológica, su producción se concentra en 4,800 municipios distribuidos en 14 entidades federativas, que de manera conjunta suman 730,011 hectáreas cultivadas aproximadamente por 500,000 productores (SAGARPA, 2016). El gobierno federal de México tiene dentro de sus planes de desarrollo (2017-2030) impulsar la producción y productividad de las actuales áreas cultivadas con café en Tabasco, México, y la apertura de nuevas áreas para ese cultivo (SAGARPA, 2016). La Zonificación Agro-Ecológica (ZAE) propuesta por la FAO, es un procedimiento que permite ubicar las áreas más aptas para un determinado cultivo (FAO, 1981) con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas, así como por un complejo número de factores socio-económicos, culturales y tecnológicos. Sin embargo, actualmente no solo es necesario determinar las áreas muy óptimas y los rendimientos potenciales máximos para el presente, sino también para escenarios futuros. El incremento en la temperatura promedio diaria anual y la disminución de la precipitación que se espera en el transcurso del siglo 21, debido al cambio climático, puede afectar la adaptación y productividad del cultivo de café (Ca-

Cuadro 1. Valores óptimos de los requerimientos climáticos para el café (*Coffea arabica* L.), que sirven para definir áreas de alta potencialidad productiva.

Variables climáticas	Valores óptimos	
	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	14	28
Precipitación anual (mm)	1400	2300
Latitud	5	-
Altitudes (m)		2800
Fotoperiodo	Días cortos (menos de 12 horas), Días neutrales (12 a 14 horas)	
Intensidad luminosa	Cielo despejado	Cielo nublado
Zona climática (clasificación de Köppen)	Tropical Húmedo y Seco (Aw), Subtropical Húmedo (Cf), Subtropical con Invierno Seco (Cw)	

Fuente ECOCROP, (2015)

Cuadro 2. Valores óptimos de las variables edafológicas seleccionadas para definir áreas con suelos de alta potencialidad para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.).

Variables edafológicas	Valores óptimos
Profundidad	>150 cm
pH	5.5 – 7.0
Textura	Media, Orgánica
Fertilidad	Alta
Salinidad	Baja (<4 dS/m)
Drenaje del suelo	Bien drenado

Fuente: ECOCROP, (2015).

datos del, ERIC III ver. 3.2. (IMTA, 2013). Se seleccionaron 45 estaciones meteorológicas en base a su distribución geográfica y periodo de registro. Los datos de irradiación global diaria se obtuvieron de un trabajo previo de los autores (Peralta-Gamas et al., 2008). Los requerimientos óptimos de cada una de las seis variables de suelo para café arábica se compararon con las propiedades de las diferentes Subunidades de Suelo existentes en el estado de Tabasco reportadas por Palma et al. (2007). Las subunidades de suelo que cumplían con los requisitos se denominaron subunidades con alto potencial edafológico. Se construyeron mapas de isolíneas a escala 1:250,000 con ArcViewSIG versión 9.3 (ESRI, 2004). Se realizó el álgebra de mapa de las zonas con alto potencial climático y las zonas con alto potencial edafológico, dando origen al mapa con alto potencial edafoclimático para el cultivo de café.

Estimación del rendimiento potencial (RP)

Se utilizó el método de ZAE propuesto por FAO, (1981) y descrito por Fischer et al. (2012) para estimar el RP del cultivo de café en Tabasco. En el Cuadro 3, se muestran los valores de índice de área foliar (IAF) e índice de cosecha (I_c) para tres niveles de insumos propuestos por Fischer et al. (2012) que fueron utilizados para estimar los RP actuales y para mediados de siglo. Los RP estimados actuales y para mediados de siglo por esta metodología son válidos bajo las siguientes condiciones: Son para cultivo de café bajo sombra, cuatro años de edad, y densidad de 2,500 plantas ha⁻¹.

Análisis del incremento de la temperatura para el año 2050

Para determinar el incremento de temperatura para el año 2050 se analizaron 12 mapas de la república mexicana, reportados por (Magaña y Caetano, 2007). El resultado del análisis señala que en el peor escenario (A2

- equivalente al escenario RCP8.5 según el IPCC, (2014), la temperatura promedio diaria de Tabasco, se incrementará en 1.6 °C a mediados de siglo. La zonificación agroecológica para el año 2050 se realizó incrementando en 1.6 °C las temperaturas promedio diarias de las 45 estaciones meteorológicas selectas. Respecto a la precipitación, los mapas reportados por Magaña y Caetano (2007) mostraron que la precipitación no se verá afectada, por lo que no se consideró el efecto de esta variable, en la generación de los mapas de zonificación para el año 2050.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Zonas climáticas muy aptas para el café tipo arábica, para la situación actual

Los análisis promedios de temperatura anual de las 45 estaciones meteorológicas selectas, mostraron que todo el estado de Tabasco presenta condiciones óptimas para cultivar café tipo arábica. Lo anterior debido a que las temperaturas registradas en las estaciones meteorológicas se ubican en el rango (de 14 y 28 °C), que es el rango óptimo que se reporta (ECOCROP, 2015). En lo relativo a la precipitación total anual, la gran mayoría del estado de Tabasco presenta valores óptimos para el café tipo arábica (2,034,227.52 ha); excepto en la parte más húmeda al sur del estado, en las estribaciones de la Sierra de Chiapas, en los municipios de Teapa, Tacotalpa y parte de los municipios de Jalapa, Macuspana y Huimanguillo. Esta restricción es debida al exceso de lluvia; así que, desde el punto de vista climático quien limita las zonas altamente potenciales es la precipitación total anual.

Delimitación de zonas edafológicas muy aptas actuales para el café

Al comparar los requerimientos óptimos de suelo que demanda el cultivo café arábico, con las propiedades de las diferentes subunidades de suelo existentes en el estado de Tabasco, se encontró que solo dos de 80 subunidades de suelo existentes, cubrían totalmente dichos requerimientos para este tipo de café. Las Subunidades fueron: Fluvisoles Éutricos y Cambisoles

Cuadro 3. Valores del índice de área foliar (IAF) e índice de cosecha (I_c) para diferentes niveles de insumos, para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Índices	Nivel de insumos		
	Bajo	Intermedio	Alto
IAF	1.5	2.3	3.0
I_c	0.600	0.095	0.130

Éutrico-calcáricos, que ocupan una superficie de 207,021.12 ha, consideradas como suelos muy aptos para cultivar café del tipo arábigo y que se localizan en la región de la Sierra, la Chontalpa y los Ríos; esta superficie representa el 5% de territorio del estado de Tabasco. Delimitación de zonas edafoclimáticas muy aptas actuales para el café.

Se realizó el álgebra de mapa de las zonas con alto potencial climático y las zonas con alto potencial edafológico, dando origen al mapa edafoclimático muy apto para el cultivo de café, las áreas que se interceptan (álgebra de mapas), son aquellas que, tanto en suelo como en clima, son las más aptas para cultivar café y donde se espera tener un alto potencial productivo. El resultado de este traslape se presenta en el mapa, y de color rojo se muestran las áreas edafoclimáticas muy aptas para producir café de tipo arábigo (Figura 1). En la Cuadro 4 se muestran 13 de los 17 municipios de Tabasco que poseen el mejor clima y mejores suelos para cultivar café. El área con alto potencial productivo es de 121,643.39 ha. El área con alto potencial productivo encontrada en este trabajo es menor al área observada en los mapas reportada por SAGARPA (2016), aunque las áreas identificadas en este trabajo como de alto potencial productivo se ubican dentro de las reportadas por SAGARPA (2016).

Los municipios que actualmente son productores de café en Tabasco son: Teapa, Tacotalpa, Macuspana, Paraíso y una gran parte del municipio de Huimanguillo

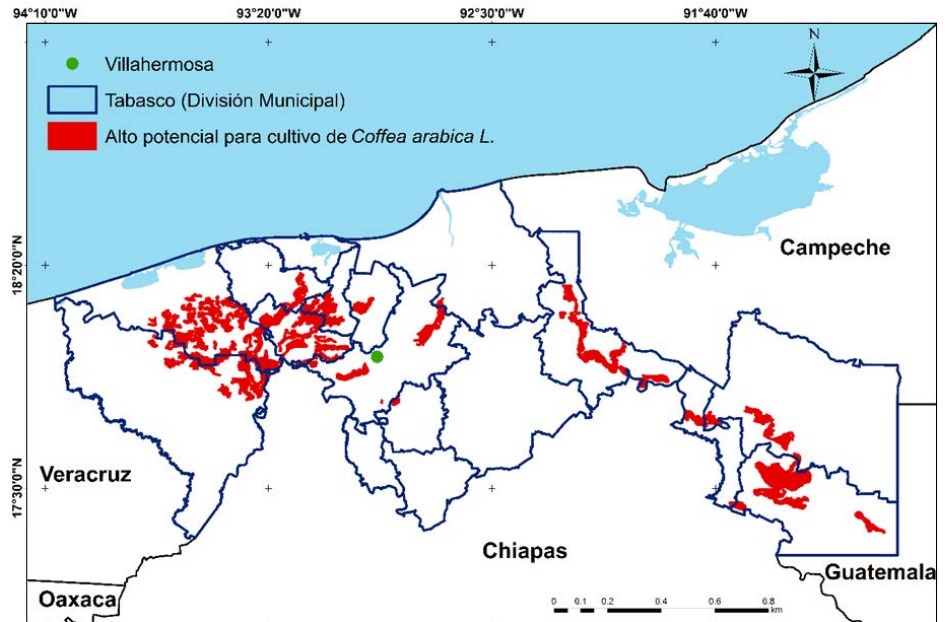


Figura 1. Zonas de alto potencial productivo (zonas edafoclimáticamente muy aptas) para cultivar café del tipo arábigo (*Coffea arabica* L.) en la actualidad.

(INEGI, 2015). A excepción de Huimanguillo, los otros cuatros municipios no aparecen en el Cuadro 4. Lo anterior indica que, en Tabasco se ha estado cultivando café en zonas que no son las más óptimas, lo que podría explicar en gran medida los bajos rendimientos obtenidos de café cereza por hectárea.

Delimitación las zonas edafoclimáticas muy aptas para el año 2050 bajo escenario (A2) de cambio climático para el cultivo de café

Los resultados mostraron que, desde el punto de vista climático, las áreas óptimas para café tipo arábigo se reducen a solo 59,400.24 ha de las 2,034,227.52 ha que bajo las condiciones climáticas actuales existen. Es decir, bajo este escenario de cambio climático las zonas climáticamente muy aptas se reducen a 2.92% de la superficie original. Situación similar a lo reportado por Schroth et al.

Cuadro 4. Municipios y superficie edafoclimáticamente muy apta para cultivar café tipo arábigo (*Coffea arabica* L.) actualmente en Tabasco, México.

Municipios	Superficie (ha)	% del área del municipio	Municipios	Superficie (ha)	% del área del municipio
Balancán	7,051.08	2.0	Huimanguillo	18,518.47	5.0
Cárdenas	27,300.10	13.4	Jalapa	574.15	1.0
Centla	120.59	0.04	Tenosique	18,806.40	10.0
Centro	8,341.46	4.9	Jonuta	13,235.25	8.1
Comalcalco	3,310.31	4.3	Nacajuca	2,083.59	3.9
Jalpa de Méndez	5,257.84	14.2	Cunduacán	14,871.24	24.9
Emiliano Zapata	2,174.91	3.7			

(2010) para la zona cafetalera de Chiapas, México, donde 265,000 ha se reducirían a solo 6,000 ha por efectos del cambio climático. En la Figura 2, se muestra el mapa de Tabasco con las zonas edafoclimáticamente muy aptas (de alta potencialidad) para café tipo arábigo, para el año 2050. En este mapa, se aprecia que para el año 2050 la superficie de zonas muy aptas para café (coloreadas en rojo) se reduce a solo 9,164.35 ha de las 121,643.39 ha originalmente muy aptas.

Es decir, que, bajo el escenario de cambio climático, las áreas edafoclimáticamente muy aptas se reducen en 92.46%, y de los 13 municipios que actualmente presentan áreas muy aptas, solo dos municipios (Cárdenas: 190.27 ha y Huimanguillo: 6,974.07 ha) presentarán áreas muy aptas para cultivar café del tipo arábigo. Estos resultados son semejantes con lo señalado por Rivera-Silva et al. (2013) para la zona cafetalera del estado de Veracruz, México.

Rendimientos potenciales actuales y para el año 2050

Los rendimientos potenciales estimados para café arábigo con el método FAO (1981) y Fischer et al. (2012) mostraron una variación en los rendimientos para diferentes insumos y para las diferentes localidades dentro de la misma zona de aptitud (muy apta). Los rendimientos potenciales promedios para el cultivo de café arábigo para esas zonas del estado de Tabasco en los tres niveles de insumo: bajo, intermedio y alto fue 3.4, 7.3 y 10.5 t ha⁻¹, de café cereza respectivamente. Los rendimientos anteriores equivalen a 0.63, 1.35 y 1.94 t ha⁻¹ de café pergamino seco (cps) respectivamente. Los rendimientos potenciales promedios estimados para el cultivo de café arábigo para el año 2050 en Tabasco en los tres niveles de insumo: bajo, intermedio y alto se redujeron a 1.1, 2.2 y 3.8 t ha⁻¹, de café cereza respectivamente. Esto representa una reducción del 67.7, 63.8 y 69.9% respectivamente; con una reducción promedio del 67% respecto al año 2018. El incremento de la temperatura promedio diaria de 1.6 °C representa reducciones en la producción de 2.3, 5.1 y 6.7 t ha⁻¹, al año de café cereza para los tres niveles señalados respectivamente. Esto indica lo susceptible que sería el café arábigo a un cambio climático.

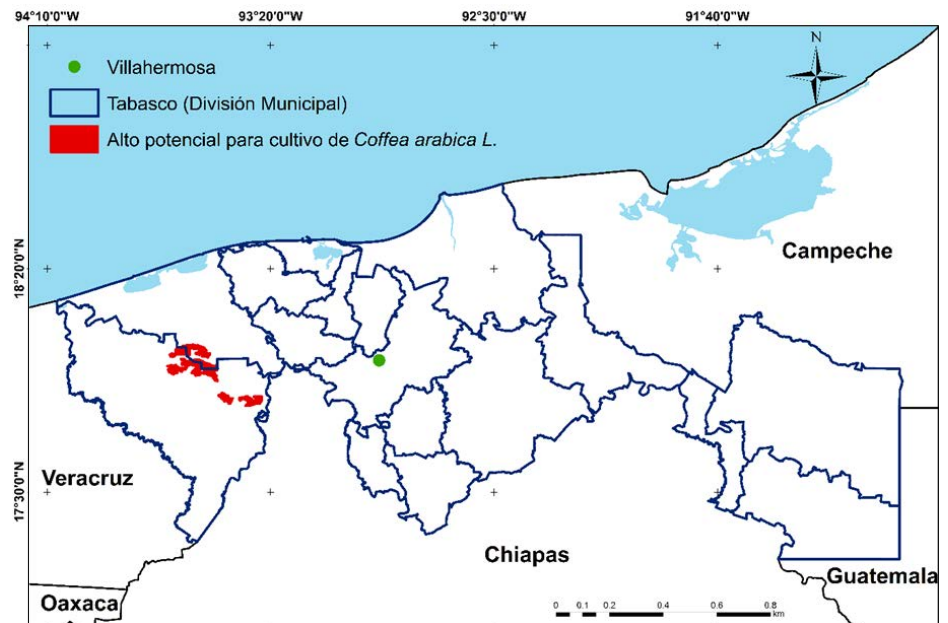


Figura 2. Zonas de alto potencial productivo (zonas edafoclimáticamente muy aptas) para cultivar café del tipo arábigo (*Coffea arabica* L.), bajo escenario de cambio climático para el año 2050.

Esto se pudiera explicar por la reducción que habría en el número de horas con temperaturas adecuadas durante el día para una máxima fotosíntesis, que ahora se reducen a menos de 3.0 h d⁻¹ y baja intensidad luminosa, pues esas tasas ocurrirían en las primeras horas de la mañana. Las tasas fotosintéticas máximas del cultivo de café se obtienen a valores de temperaturas diurnas entre 20 y 25 °C (Fisher et al., 2012). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Rivera-Silva et al. (2013) para la región cafetalera de Veracruz.

CONCLUSIONES

Actualmente, en Tabasco existen 121,643.39 ha edafoclimáticamente muy aptas para establecer el cultivo de café tipo arábigo, y bajo el peor escenario de cambio climático (A2, hoy RCP8.5), se reducirán en 92.46%. El área muy apta se concentrará en solo dos municipios (Cárdenas y Huimanguillo), de los actualmente 13 con alto potencial productivo. El rendimiento potencial estimado actual para el café tipo arábigo, bajo el escenario de cambio climático para el año 2050, se verá reducido en promedio en 67%.

LITERATURA CITADA

- Camargo, M.B.P. (2010). The impact of climatic variability and climate change on Arabic Coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69, 239-247.
- Craparo, A.C.W., Van Asten, P.J.A., Läderach, P., Jassogne, L.T.P., & Grab, S.W. (2015). *Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10.

- ECOCROP. (Crop Ecological Requirements). (2015). The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Versión 1.0. Ags. Rome, Italy.
- ESRI. (2004). Arcgis 9. Getting Started With Arcgis. Sistema de información. Redland, CA. USA, p. 256.
- FAO. (1981). Report on the Agro-Ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations World Soils Report No. 48. Rome, Italia, p.158. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF8217381>.
- Fischer, G., Nachtergaele, F.O., Prieler, S., Teixeira, E., Tóth, G., Van Velthuizen, H., Verelst, L. & Wiberg, D. (2012). Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0): Model Documentation. International Institute for Applied systems Analysis/Food and Agriculture Organization of the United Nations (IIASA/FAO), Luxemburg, Austria and FAO, Rome, Italy, p. 179.
- IMTA. (2013). ERIC III. Extractor Rápido de Información Climatológica v.3.2.
- INEGI. (2015). Anuario Estadístico Tabasco. (En línea). Disponible en: www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras.
- IPCC (2014). Climate Change 2014. Synthesis Report. Contributions of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Mayer, L. A. (Eds.). Switzerland. 151 p.
- Magaña, V. & Caetano, E. (2007). Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana, como elemento para la reducción del riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: Cambio climático por estado y por sector. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Dirección General de Investigación Sobre Cambio Climático. Informe Final Proyecto Num. INE/A1-006/2007. 19p.
- Palma, L.D.J., Cisneros, D.E., Moreno, C.E. & Rincón, R.J.A. (2007). Suelos de Tabasco: Su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FRUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 194p.
- Peralta-Gamas, M., Jiménez-Jiménez, R., Martínez-Gallardo, J. B., Rivera-Hernández, B. & Aceves-Navarro, L. A. (2008). Estimación de la variación espacial y temporal de la radiación solar en el estado de Tabasco, México. XX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Villahermosa, Tabasco, México. 243 p.
- Rivera-Silva, M.R., Nikolskii-Gavrilov, I., 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), 301-313.
- SAGARPA. (2016). Plan Integral de Atención al Café PIAC. Consultado en línea el 24 de marzo de 2019. Disponible en: https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2016/10/3_procafe.pdf.
- Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Hagggar, J., Eakin, H., Castillejos, T., Garcia Moreno, J., Soto Pinto, L., Hernandez, R., Eitzinger, A. and Ramirez-Villegas, A. (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Mitig. Adapt. Strateg. Global Change, 14, 605-625.

