

ÁREAS GEOGRÁFICAS SUSCEPTIBLES A *Fusarium oxysporum* EN EL CULTIVO DE FRESA EN GUANAJUATO, MÉXICO

Rosa A. Juárez-García¹, Diana Sanzón-Gómez¹, Luis F. Ramírez-Santoyo¹, Jorge E. Ruiz-Nieto¹, Jaquelina González-Castañeda¹ y Jesús Hernández-Ruíz¹

RESUMEN

Fusarium oxysporum es el hongo más frecuente del complejo de especies que conforman la enfermedad conocida como secadera de la fresa. El objetivo del presente trabajo fue determinar la idoneidad ambiental que propicia la incidencia de este hongo. Se tomaron muestras en 174 unidades de producción de fresa en el estado de Guanajuato México, para determinar la presencia de *F. oxysporum* mediante caracterización morfológica de la planta. Con los casos positivos se evaluó la idoneidad ambiental con el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt) utilizando 22 variables bioclimáticas como predictores. Se encontró que en una superficie de total de 174.580 ha, existen las condiciones climáticas para propiciar la incidencia de *F. oxysporum*. Las variables climáticas que principalmente propician esta incidencia son el cuatrimestre más cálido (31 %), el régimen de humedad (26 %) y la altitud de la zona (18 %).

Palabras clave adicionales: Idoneidad ambiental, MaxEnt, secadera de la fresa

ABSTRACT

Geographic areas susceptible to *Fusarium oxysporum* in strawberry crop in Guanajuato, México

Fusarium oxysporum is the most frequent fungus in the complex of species that make up the disease known as strawberry drying. The objective of this work was to determine the environmental suitability that favors the incidence of this fungus. A total of 174 strawberry production units were sampled to determine the presence of *F. oxysporum* by morphological characterization. Into positive cases, environmental suitability was evaluated through the maximum entropy algorithm (MaxEnt) with 22 bioclimatic variables as predictors. It was found that in the State of Guanajuato, Mexico, a total surface of 174,580 ha, had climatic conditions to promote the incidence of *F. oxysporum*. The climatic variables that mainly promote this incidence were the warmest four-month period (31%), the humidity regime (26 %) and the altitude of the zone (18 %).

Additional keywords: Environmental suitability, MaxEnt, strawberry dryer

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de fresa viene aumentando rápidamente; en 2019 se cultivaron alrededor de 17.000 ha con una producción cercana a 700.000 Mg. En el estado de Guanajuato se cultivaron 1790 ha y se estima incrementa en 1,6 % anual hasta el año 2030 según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020). Sin embargo, el cultivo presenta afectaciones por diferentes enfermedades, principalmente las de tipo fungoso (Ceja et al., 2008; Martínez et al., 2010).

Los hongos de los géneros *Fusarium*,

Rhizoctonia, *Verticillium* y *Phytophthora* son agentes causantes de la enfermedad conocida como “secadera de la fresa”, así como otras enfermedades del tallo y raíz asociadas a estos microorganismos, y se consideran un grave problema para la producción agrícola (De los Santos et al., 2003). En la región central de México, principalmente en Guanajuato, *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* (*Fof*) es el hongo más frecuente por su amplia distribución. La susceptibilidad de las variedades de fresa, la magnitud de los daños ocasionados y la presencia activa durante todo el ciclo de cultivo tanto en vivero como en plantaciones comerciales

Recibido: Julio 12, 2020

Aceptado: Noviembre 29, 2020

¹ División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, México. e-mail: rosa.a.juarez@hotmail.com; diana.sanzon@ugto.mx; santoyo@ugto.mx; jorge.ruiz@ugto.mx; jaquegc1@hotmail.com; hernandez.jesus@ugto.mx (autor de correspondencia)

provoca una disminución considerable en el rendimiento y genera enormes pérdidas económicas a los productores (Ceja et al., 2008; Mariscal et al., 2017).

Las condiciones ambientales pueden favorecer la propagación y aumentan la severidad con que afecta un fitopatógeno (Agrios, 2005; Cubillos, 2017). Por ello se considera importante la estimación de la idoneidad ambiental para evaluar el riesgo de invasión (Escobar y Craft, 2016; Osorio et al., 2017). La idoneidad ambiental se considera como la relación matemática o estadística entre la distribución conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores para el desarrollo favorable de una especie (Mateo et al., 2011).

Aunado a lo anterior, la gestión de la producción de cultivos comerciales sostenibles exige estrategias a largo plazo, que dependen de los escenarios climáticos, los cuales se pueden prever con herramientas que determinen la distribución potencial y abundancia relativa de especies para la producción agrícola y presencia de patógenos. Estas estrategias han sido abordadas por modelos bioclimáticos, modelos de nicho ecológico (ENM) y modelos de distribución de especies (SDM) (Guisan y Zimmerman, 2000; Pearson y Dawson, 2003, López et al., 2018).

Los puntos de presencia del patógeno pueden coadyuvar para modelar las distribuciones futuras de esta especie, y para ello es esencial conocer la disponibilidad de su ocurrencia georreferenciada a nivel local, dado que las bases de datos como Global Biodiversity Information Facility (<http://www.gbif.org/>), Atlas of Living Australia (<http://www.ala.org.au>) y Discover Life (<http://www.discoverlife.org>) sólo proporcionan registros limitados. Shabani et al. (2014) señalan que con poca información no es posible modelar distribuciones futuras de una forma especial de *F. oxysporum*.

La probabilidad de presencia del patógeno informa sobre el riesgo aproximado de transmisión y puede actuar como una herramienta temprana para guiar planes de control y prevención (Andreo et al., 2011). Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue determinar la idoneidad ambiental que propicia la incidencia de *F. oxysporum* para cultivo de fresa en Guanajuato, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de muestreo. Se utilizó un muestreo aleatorio simple, con 95 % de confianza y 5 % de margen de error. El marco de muestreo fue la base de productores de fresa del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG), que corresponde a un total de 316 unidades de producción (UP) distribuidas en el estado de Guanajuato, entre las coordenadas 19°55'-21°52' N y 99°41'-102°14' W. Para el estudio se seleccionaron 174 UP.

Caracterización morfológica. Durante el ciclo agrícola del año 2017 se recolectaron cinco plantas de fresa con síntomas característicos de secadera de la fresa (marchitez, enanismo y clorosis) por unidad de producción en 174 parcelas de 84 localidades, distribuidas en 24 municipios del estado de Guanajuato. Los hongos aislados se purificaron mediante la técnica de cultivos monospóricos y por punta de hifa en medio Papa-Dextrosa-Agar, 39 g·L⁻¹ en agua destilada, adicionando 0,25 % de ácido láctico. De cada planta se obtuvieron cuatro aislados puros del tejido de raíz.

Para la clasificación del género *Fusarium* se observó el crecimiento del micelio y la pigmentación del medio de cultivo, y mediante preparaciones temporales, se identificaron microconidios, macroconidios y clamidosporas. Las características culturales y morfológicas se compararon con las descripciones de Nelson et al. (1983).

De las unidades de producción en las cuales se detectaron casos positivos a *Fusarium oxysporum*, se generó una base de datos de sus coordenadas geográficas (latitud, longitud) la cual se realizó usando un sistema portátil de localización geográfica Garmin GPSMAP 64s.

Modelo de idoneidad ambiental. Con la base de datos de la presencia del patógeno se utilizó el programa MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips et al., 2017), el cual realiza la modelización de la distribución geográfica de especies con registros de presencia y determina la distribución a través de la probabilidad de máxima entropía (cerca a la uniforme), delimitado por un conjunto de covariables conocidas como clima, topografía, suelos y vegetación (Cruz et al., 2014). Se utilizaron 22 variables climáticas como predictores (Cuadro 1), de las cuales 19 fueron

Juárez et al. Áreas susceptibles a *Fusarium oxysporum* en fresa en Guanajuato, México

bioclimáticas de resolución espacial de 0,5 minutos de arco y fueron obtenidas de la base de datos WorldClim (www.worldclim.org), y tres variables ambientales: datos digitales de elevación (DEM, obtenidos del CGIAR-CSI en <http://srtm.csi.cgiar.org>), formato vectorial de régimen de

humedad del suelo de Maples (1992) y formato vectorial de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 1998).

Cuadro 1. Variables ambientales y bioclimáticas utilizadas para estimar idoneidad ambiental de *Fusarium oxysporum* en Guanajuato

Código	Descripción de variable	Unidades
Bio1	Temperatura promedio anual	°C
Bio2	Oscilación diaria de la temperatura	°C
Bio3	Isotermalidad*	Sin dimensiones
Bio4	Estacionalidad de la temperatura**	Sin dimensiones
Bio5	Temperatura máxima promedio del mes más cálido	°C
Bio6	Temperatura mínima promedio del mes más frío	°C
Bio7	Oscilación anual de la temperatura	°C
Bio8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	°C
Bio9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	°C
Bio10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	°C
Bio11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	°C
Bio12	Precipitación anual	mm
Bio13	Precipitación del período más lluvioso	mm
Bio14	Precipitación del período más seco	mm
Bio15	Estacionalidad de la precipitación**	Sin dimensiones
Bio16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	mm
Bio17	Precipitación del cuatrimestre más seco	mm
Bio18	Precipitación del cuatrimestre más cálido	mm
Bio19	Precipitación del cuatrimestre más frío	mm
Bio20	Altitud	msnm
Bio21	Régimen de Humedad	Días
Bio22	Uso de suelo y vegetación	23 tipos

*La isotermalidad es el índice de variabilidad de la temperatura determinado por la oscilación diaria de la temperatura sobre la oscilación anual en porcentajes según el Worldwide Bioclimatic Classification System.

**Según el Atlas Climático Digital de México <http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/f_bioclimaticos.html>

El programa realiza la estimación relativa que determina la contribución de las variables al modelado, y agrega el aumento en la ganancia regularizada a la variable correspondiente, o la resta de ella si el cambio al valor absoluto es negativo (Shabani et al., 2016). De esta forma, se asignan las contribuciones a las variables ambientales de las que depende la especie, y finalmente, los valores se convierten en porcentajes para obtener la tabla de contribuciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 174 UP estudiadas se registraron 154 casos positivos de *F. oxysporum* aislado de tejido infectado de raíz lo cual sustenta la tesis de que es

el género con mayor frecuencia en cultivo de fresa en Guanajuato. Mariscal et al. (2017) reportan que la frecuencia de esta especie en el cultivo de fresa fue de 54 % en el ciclo agrícola del 2014 y 60 % en el ciclo del 2015. Dada la alta frecuencia y distribución regional de *F. oxysporum*, este hongo se presenta como el de mayor aptitud parasítica pudiendo formar complejos con *Phytophthora sp.*, *Pythium aphanidermatum* y *Rhizoctonia fragariae* (Ceja et al., 2008).

De las 22 variables climáticas utilizadas como predictores en el modelo, tres fueron las más importantes que delimitaron la idoneidad ambiental de *F. oxysporum*: precipitación del cuatrimestre más cálido (31 %), régimen de humedad (26 %) y altitud (18 %) (Cuadro 2). El

25 % restante estuvo representado por la estacionalidad de la precipitación y de la temperatura, la precipitación del cuatrimestre más frío y la oscilación anual de la temperatura. En este sentido, a pesar del impacto de *F. oxysporum* en el sector agrícola, hay información limitada disponible sobre la biogeografía de esta especie en relación con el suelo y el clima. Por ejemplo, Summerell et al. (2010) reportan que gran parte de la distribución de especies de *Fusarium* está influenciada por factores como lluvia, temperatura, tipo de suelo y vegetación local; aunque la relación principal es entre la tasa de crecimiento y la temperatura, la capacidad de supervivencia a temperaturas

extremas también es de importancia crucial (Sangalang et al., 1995). Aunado, Summerell et al. (2011) indican que la tolerancia a la sequía es el factor clave asociado con la distribución de especies de *Fusarium*, mientras que Rheeder y Marasas (1998) han demostrado que los tipos de vegetación y uso de la tierra son factores fundamentales en la distribución de algunas especies de *Fusarium* en Sudáfrica. Investigaciones centradas en utilizar el software Maxent, reportaron que para el género *Fusarium* en cultivo de plátano las variables que determinaron la idoneidad de presencia fueron las precipitaciones del mes más húmedo (26 %) y del mes más seco (21 %) (Shukla et al., 2020).

Cuadro 2. Contribución porcentual de las principales variables bioclimáticas en el modelo de idoneidad ambiental para *F. oxysporum* en Guanajuato

Variable	Contribución (%)
Precipitación del cuatrimestre más cálido (Bio18)	31.0
Régimen de Humedad (Bio 21)	26.0
Altitud (Bio 20)	18.0
Estacionalidad de la precipitación (Bio15)	7.6
Precipitación del cuatrimestre más frío (Bio19)	7.1
Oscilación anual de la temperatura (Bio7)	5.6
Estacionalidad de la temperatura (Bio4)	4.7

El modelo de idoneidad ambiental para *Fusarium oxysporum* (Figura 1) mostró valores de probabilidad de presencia por encima de la media (0,5 a 1,0), principalmente en los municipios de Abasolo (001) con 55,401 ha, Irapuato (017) 69,431 ha y Salamanca (027) 18,988 ha, que suman un total de 143.820 ha y equivale al 4,7 % de la superficie estatal. Las características generales de estas zonas son las de suelo Vertisol Pélico, precipitación promedio anual en un rango entre 600 y 800 mm, clima semiárido subhúmedo y temperatura media anual mayor de 18 °C, las cuales pueden considerarse relevantes dado que influyen en la distribución de *Fusarium* (Summerell et al., 2010).

En estos municipios, datos del SIAP (2020) reportan que entre las mayores superficies con cultivo de fresa se encuentran Irapuato (494 ha), Abasolo (158 ha), y Salamanca (118 ha). Por lo anterior, se considera que la idoneidad ambiental de *F. oxysporum* determinada en este trabajo puede proporcionar una base para la toma de decisiones y/o estrategias para el control y

prevención del patógeno, considerando las localidades propicias para la producción agrícola e industrias asociadas (Shabani et al., 2014).

La probabilidad de presencia para *F. oxysporum* aumenta (68 %) cuando la precipitación del cuatrimestre más cálido (mayo a agosto) se encuentra en un rango de 150-180 mm y disminuye (hasta 0 %) cuando la precipitación aumenta más de 200 mm (Figura 2a).

Con relación al régimen de humedad del suelo, se estima que la probabilidad de presencia para la proliferación aumenta (61 %), cuando los días de humedad superaron los 260 lo cual es característico de un régimen de humedad Ústico (180-270 días de humedad), y la probabilidad disminuye (10 %) cuando el número de días de humedad es inferior a 50 (Figura 2b). Ese efecto ha sido reportado por Summerell et al. (2010) quienes mencionan que la distribución de especies de *Fusarium* está influenciada por variables como lluvia y tipo de suelo. Respecto a la altitud, la probabilidad de presencia para la proliferación del patógeno aumenta (72 %) cuando el rango se

Juárez et al. Áreas susceptibles a *Fusarium oxysporum* en fresa en Guanajuato, México

encuentra en 1700-1800 msnm y la probabilidad disminuye (hasta 0 %) cuando la altitud es superior a los 2000 msnm (Figura 2c). Esta variable se asocia a la idoneidad para el cultivo, el cual presenta su adecuada producción

en altitudes que oscilan entre 1300 y 2000 msnm (Pineda y Torres, 2017). Esta variable también resulta importante dado que influye en la concentración de antocianinas en fresa (Guerrero et al., 2015).

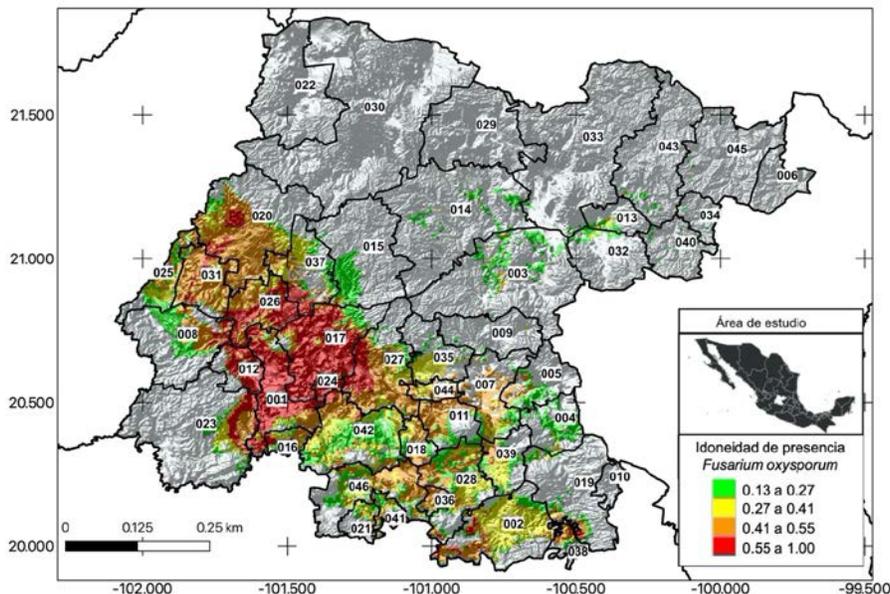


Figura 1. Mapa de idoneidad de presencia para *Fusarium oxysporum* en el estado de Guanajuato. Los números en los recuadros corresponden a los municipios indicados en el texto del artículo

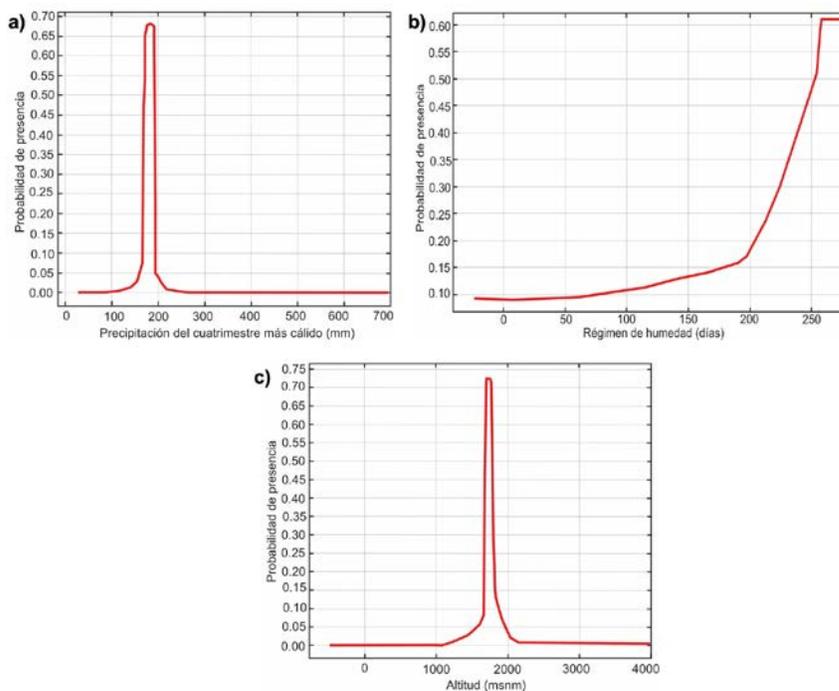


Figura 2. Probabilidad de presencia de *F. oxysporum* en relación a las variables a) Precipitación del cuatrimestre más cálido; b) Régimen de humedad; c) Altitud

CONCLUSIONES

En el estado de Guanajuato existen las condiciones climáticas que pueden propiciar la incidencia de *F. oxysporum*. Las variables climáticas que favorecen esta incidencia son, en orden de importancia, el cuatrimestre más cálido (31 %), el régimen de humedad (26 %) y la altitud (18 %).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por la Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior (SICES) del estado de Guanajuato, como parte del proyecto “Determinación geoespacial de áreas susceptibles a plagas y enfermedades del cultivo de fresa en Guanajuato” (oficio DRF/860/2019).

LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 2005. Plant pathology. 5th ed. University of Florida, FL, USA
- Andreo, V., G. Glass, T. Shields, C. Provenzal y J. Polop. 2011. Modeling potential distribution of *Oligoryzomys longicaudatus*, the andes virus (Genus: *Hantavirus*) reservoir, in Argentina. *EcoHealth* 8(3): 332-348.
- Ceja-Torres, L.F., G. Mora-Aguilera, D. Téliz, A. Mora-Aguilera, P. Sánchez-García, C. Muñoz-Ruíz y D. La Torre-Almaraz. 2008. Ocurrencia de hongos y etiología de la secadera de la fresa con diferentes sistemas de manejo agronómico. *Agrociencia* 42(4): 451-461.
- CONABIO. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Uso de suelo y vegetación. Escala 1:1 000 000. Modificado de: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) - Instituto Nacional de Ecología (INE). 1996. Uso del suelo y vegetación, escala 1:1 000 000. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/> (consulta de julio 12, 2020).
- Cubillos, G. 2017. Frosty pod rot, disease that affects the cocoa (*Theobroma cacao*) crops in Colombia. *Crop Protection* 96:77-82.
- Cruz-Cárdenas, G., J.L. Villaseñor, L.López-Mata, E. Martínez-Meyer y E. Ortiz. 2014. Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 20(2): 187-201.
- De los Santos B., C. Barrau, y F. Romero. 2003. Strawberry fungal diseases. *Food, Agriculture and Environment* 1: 129-132.
- Escobar, L.E. y M.E. Craft. 2016. Advances and limitations of disease biogeography using ecological niche modeling *Frontiers in Microbiology* 7: 1174.
- Guerrero-Chávez, G., M. Scampicchio y C. Andreotti. 2015. Influence of the site altitude on strawberry phenolic composition and quality. *Scientia Horticulturae* 192: 21-28.
- Guisan, A. y N.E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135(3): 147-186.
- López-Rocha, E., A.I. Mireles-Arriga, J. Hernández-Ruiz, J.E. Ruiz-Nieto y A. Rucoba-García. 2018. Áreas potenciales para el cultivo de girasol en condiciones de temporal en Guanajuato, México. *Agronomía Mesoamericana* 29(2): 305-314.
- Maples, V.M. 1992. Regímenes de humedad del suelo en Hidrogeografía IV.6.2 Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. <https://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/> (consulta de julio 12, 2020).
- Mariscal-Amaro, L.A., A. Rivera-Yerena, P.A. Dávalos-González y D. Ávila-Martínez. 2017. Situación actual de hongos asociados a la secadera de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en Guanajuato, México. *Agrociencia* 51(6): 673-681.
- Martínez, F., S. Castillo, E. Carmona y M. Avilés. 2010. Dissemination of *Phytophthora cactorum*, cause of crown rot in strawberry, in open and closed soilless growing systems and the potential for control using slow sand filtration. *Scientia Horticulture* 125: 756-760.
- Mateo, R.G., Á.M. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural* 84(2): 217-240.

16. Nelson, P.E., T.A. Toussoun, y W.F.O. Marasas. 1983. *Fusarium* Species: An Illustrated Manual for Identification. The Pennsylvania State University Press. University Park and London pp. 142-150.
17. Osorio-Almanza, L., O. Burbano-Figueroa, C.A.M. Arcila, B.A.M. Vásquez, F. Carrascal-Pérez y F.J. Romero. 2017. Distribución espacial del riesgo potencial de marchitamiento del aguacate causado por *Phytophthora cinnamomi* en la subregión de Montes de María, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11(2): 273-285.
18. Pearson, R.G. y T.P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12(5): 361-371.
19. Phillips, S.J., R.P. Anderson, M. Dudík, R.E. Schapire y M.E. Blair. 2017. Opening the black box: an open-source release of MaxEnt. *Ecography* 40: 887-893.
20. Pineda, D.E.S. y N.L.R. Torres. 2017. Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido. *Ingenierías USBMed* 8(1): 7-11.
21. Rheeder, J.P. y W.F.O. Marasas, (1998). *Fusarium* species from plant debris associated with soils from maize production areas in the Transkei region of South Africa. *Mycopathologia* 143(2): 113-119
22. Sangalang, A. E., D. Backhouse y L.W. Burgess. 1995. Survival and growth in culture of four *Fusarium* species in relation to occurrence in soils from hot climatic regions. *Mycological Research*, 99(5): 529-533.
23. Shabani, F., L. Kumar y A. Esmaili. 2014. Future distributions of *Fusarium oxysporum* f. spp. in European, Middle Eastern and North African agricultural regions under climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 197: 96-105.
24. Shabani, F., L. Kumar y M. Ahmadi. 2016. A comparison of absolute performance of different correlative and mechanistic species distribution models in an independent area. *Ecology and Evolution* 6(16): 5973-5986.
25. Shukla, P.K., G. Baradevanal, S. Rajan y T. Fatima. 2020. MaxEnt prediction for potential risk of mango wilt caused by *Ceratocystis fimbriata* Ellis and Halst under different climate change scenarios in India. *Journal of Plant Pathology* 5: 1-9.
26. SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Resumen nacional por estado. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do (consulta de Nov 1, 2019).
27. Summerell, B.A., M.H. Laurence, E.C. Liew y J.F. Leslie. 2010. Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: A review. *Fungal Diversity* 44(1): 3-13.
28. Summerell, B.A., J.F. Leslie, E.C. Liew, M.H. Laurence, S. Bullock, T. Petrovic y L.W. Burgess. 2011. *Fusarium* species associated with plants in Australia. *Fungal Diversity* 46(1): 1-27.

