

ÁREAS GEOGRÁFICAS SUSCEPTIBLES AL VIRUS RUGOSO DEL TOMATE (ToBRFV) EN GUANAJUATO, MÉXICO

Luis I. Nolasco-García¹, Juan L. Marín-León¹, Ana I. Mireles-Arriaga²,
Jorge E. Ruiz-Nieto² y Jesús Hernández-Ruíz²

RESUMEN

El *Virus Rugoso del Tomate* (ToBRFV) se transmite principalmente por semilla contaminada e infección de planta a planta durante las labores del cultivo; sin embargo, las condiciones climáticas locales pueden propiciar su severidad. El objetivo del presente trabajo fue determinar la idoneidad ambiental del ToBRFV en el estado de Guanajuato, México. Se colectó material vegetativo con síntomas característicos del ToBRFV para extraer ARN y se realizaron reacciones de RT-PCR para amplificar un segmento del ORF2 del genoma de este virus. Se elaboró una base de datos con la localización geográfica de los casos positivos detectados. Posteriormente se aplicó el algoritmo de máxima entropía con 22 variables bioclimáticas como predictores. En una superficie de 288.104 ha ubicada en Guanajuato (equivalente al 9,4 % de la superficie estatal) existen las condiciones climáticas para propiciar la presencia del ToBRFV. Las variables climáticas que propician esta incidencia son: precipitación del cuatrimestre más cálido (27,7 %), régimen de humedad (26,4 %) y temperatura mínima promedio del año más frío (17,0 %).

Palabras clave adicionales: Idoneidad ambiental, máxima entropía, Solanaceae, *Tobamovirus*

ABSTRACT

Geographic areas susceptible to *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) in Guanajuato, Mexico

Tomato Brown Rugose Fruit Virus (ToBRFV) is transmitted mainly by contaminated seed or plant-to-plant infection during the crop; however, local climatic conditions can enhance the incidence and severity of the virus. The objective of this research was to determine the environmental suitability of the ToBRFV in Guanajuato State, Mexico. Vegetative material was collected with characteristic symptoms of ToBRFV to extract RNA by RT-PCR to amplify a segment of ORF2 of the genome of this virus. A database was created with the geographic location of the positive cases; then the maximum entropy algorithm was applied with 22 bioclimatic variables as predictors. On a surface of 288,104 ha located in Guanajuato (equivalent to 9.4 % of the State's surface area), there are climatic conditions conducive to the incidence and severity of ToBRFV. The climatic variables that favor this incidence are: precipitation of the warmest four-month period (27.7 %), humidity regime (26.4 %) and average minimum temperature of the coldest year (17.0 %).

Additional keywords: Environmental suitability, maximum entropy, Solanaceae, *Tobamovirus*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el cultivo más importante y extensivo en el mundo. En México, es el cuarto rubro en importancia por su contribución al valor de la producción agrícola primaria (SIAP, 2020).

Dentro de las enfermedades por patógenos en tomate, las ocasionadas por virus siguen siendo notoriamente difíciles de controlar debido a la continua aparición de nuevas cepas, tales como la emergencia de cuasiespecies, así como su gran potencial para evolucionar y adaptarse, creando variación genética y tiempos de generación cortos

(Hanssen et al., 2010). Los cultivos de tomate infectados por virus pueden tener pérdidas del 100 %, menor vida útil y presentar baja calidad del producto. En consecuencia, la producción se torna inviable, llevando a los agricultores al abandono del cultivo (Hanson et al., 2016). Entre los virus que afectan al cultivo de tomate se destacan los pertenecientes a la familia *Virgaviridae* del género *Tobamovirus* que consta de 37 especies (Adams et al., 2009). Son virus rígidos en forma de bastón que se transmiten fácilmente a las plantas sanas por inoculación mecánica, semilla contaminada y contacto entre plantas. Son excepcionalmente estables ya que sobreviven años en restos de plantas

Recibido: Enero 28, 2022

Aceptado: Septiembre 2, 2022

¹ Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG), México. e-mail: ngli_iags@hotmail.com; jlmarin13@hotmail.com

² División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, México. e-mail: ana.mireles@ugto.mx; jorge.ruiz@ugto.mx; hernandez.jesus@ugto.mx (autor de correspondencia)

y durante semanas o meses en estructuras de invernadero, macetas y herramientas hortícolas (Dombrovsky y Smith, 2017). Así mismo, pueden ser transmitidos, mediante polinizadores que actúan simultánea-mente como vectores del ToBRFV (Zhang et al., 2022). Los estudios de los efectos del clima sobre la distribución de enfermedades de las plantas tiene una relevancia significativa (Galdino et al., 2016). Dado que, los parámetros climáticos, como temperatura y precipitación, juegan un papel importante en el desarrollo de enfermedades y en las interacciones de vectores, cultivos y enfermedades, ya que las alteraciones del clima pueden modificar las condiciones para los organismos de enfermedades infecciosas, plantas hospedantes y vectores (Ramos et al., 2019).

Debido a que las enfermedades virales en el cultivo de tomate pueden ser muy graves para la producción, actualmente se utilizan diversas estrategias para su control como son la inducción de resistencia en plantas, sanitización, eliminación de plantas sintomáticas, detección temprana en semillas y protección cruzada (Panno et al., 2020; Zinger et al., 2021). No obstante, existe otro enfoque que puede ser de utilidad para el control de enfermedades y plagas en campo que es el uso de modelos predictivos que integren la ocurrencia de la enfermedad con condiciones climáticas y ambientales, generando mapas de distribución potencial. Los modelos de distribución potencial pueden identificar condiciones que propicien o bien que limiten la distribución de las plagas o enfermedades en cultivos, proporcionando información necesaria para su manejo y control (Kumar et al., 2014; Juárez et al., 2021). El modelo de máxima entropía (MaxEnt) utiliza datos categóricos y continuos incorporando las interacciones entre diferentes variables bioclimáticas que determinan la idoneidad ambiental y la distribución potencial de las especies estudiadas (Wang et al., 2010). Éste se ha empleado para predecir las distribuciones globales del virus del enrollamiento de la hoja amarilla del tomate (TYLCV), dado que utiliza solo datos de presencia, es apropiado para tamaños de muestra pequeños y genera un índice de idoneidad de las especies que va de 0 (no apto) a 1 (idoneidad óptima) (Ramos et al., 2019).

El primer reporte de la presencia del *Virus rugoso del tomate* en México, se presentó en el estado de

Michoacán (Cambrón et al., 2018). Éste es colindante con Guanajuato, donde existen aproximadamente 1500 hectáreas de tomate y pimiento bajo invernadero y 500 hectáreas de tomate a campo abierto (SIAP, 2020), las cuales pueden ser infectadas por actividades mecánicas, plantas hospederas y a posibles vectores, como polinizadores (Caruso et al., 2022; Zhang et al., 2022). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar las áreas geográficas susceptibles a la presencia de ToBRFV en Guanajuato mediante el uso del modelo de máxima entropía (MaxEnt).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron 13 muestras simples, una por cada sitio donde el cultivo mostraba síntomas, como coloración amarilla, manchas verdes malformación de frutos, estriado verde, manchas irregulares color marrón, hojas con mosaicos y moteado amarillento, los cuales son característicos de ToBRFV (Salem et al., 2016; Luria et al., 2017). Las muestras fueron debidamente identificadas y trasladadas al laboratorio del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG) donde fueron resguardadas a 4 °C hasta su análisis.

Los suelos predominantes son del orden Vertisol Pélico, de textura fina (INEGI, 2014). Las condiciones climáticas prevalecientes durante el mes de septiembre, en los municipios donde se realizó la colecta fue una temperatura media de 17,5 °C y precipitación acumulada de 374,6 mm.

Para el diagnóstico del material vegetal de tomate, el ARN total se extrajo a partir de 100 mg de nervaduras centrales con el kit comercial SV Total ARN Isolation System Promega de acuerdo con las indicaciones del fabricante. La pureza y concentración del ARN extraído se cuantificó por espectrofotometría a una longitud de onda de 260/280 nm (Nano Drop 2000 , Thermo Scientific).

La retrotranscripción se realizó con iniciadores aleatorios (Random Hexamer, Invitrogen), siguiendo las indicaciones del fabricante. En la PCR se usaron los iniciadores ToBRFV-F (5'-AACCAGAGTCTTCCTATACTCGGAA-3') y ToBRFV-R (5'-CTCWCCATCTCTTAATAATCTCCT-3') que amplifican un fragmento de 475 pb (SENASICA, 2018).

La mezcla de reacción consistió en 12,5 µL de Platinum SuperFi PCR Master Mix (2X) (Invitrogen), 5 µL de Super FiTM GC Enhancer

(5X) (Invitrogen), 3 µL de agua grado biología molecular (Invitrogen), 1,25 µL del primer ToBRFV-F (10 µM), 1,25 µL del primer R ToBRFV-R (10 µM) y 2 µL del templado de cDNA, en un volumen final de 25 µL. La amplificación se realizó bajo las siguientes condiciones: 1 ciclo de 98 °C por 5 min, 25 ciclos a 98 °C por 1 min, 62 °C por 3 min, y 72 °C por 3 min, con una extensión final a 72 °C por 10 min. Los productos amplificados fueron visualizados en gel de agarosa al 1,5 %. Los productos de la RT-PCR fueron purificados y secuenciados en el Laboratorio de Biología Molecular del Centro

Nacional de Referencia Fitosanitaria, empleando un equipo Applied Biosystems 3130; las secuencias obtenidas fueron ensambladas y editadas para obtener tamaños de 900 pb y luego comparadas en la base de datos del GenBank (https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/blast.cgi?Program=blastn&page_type=blastsearch&link_loc=blasthome).

De las 13 muestras recolectadas, 12 resultaron positivas a ToBRFV (Cuadro 1), con las cuales se elaboró una base de datos en la que se identificó la latitud y longitud usando un sistema portátil de localización geográfica Garmin GPSMAP 64s.

Cuadro 1. Ubicación de las muestras con síntomas característicos de ToBRFV en Guanajuato, México

Municipio	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Clima Tipo	Tipo de producción
Abasolo	20°30'20''	101°31'32''	1960		Invernadero
Acámbaro	20°06'01''	100°43'17''	1850		Cielo abierto
Acámbaro	20°03'01''	100°47'05''	1850		Invernadero
Cuerámbaro	20°35'46''	101°37'11''	1690		Cielo abierto
Irapuato	20°36'30''	101°16'00''	1750	Semicálido	Invernadero
León	20°54'56''	101°40'50''	1760	subhúmedo	Invernadero
Moroleón	20°09'04''	101°15'46''	1745		Invernadero
Salvatierra	20°15'12''	100°50'55''	1780		Invernadero
Santiago Maravatío	20°11'13''	101°00'00''	1730		Invernadero
Silao	20°50'29''	101°24'27''	1750		Cielo abierto
San Felipe	21°43'48''	100°57'40''	1840	Árido semicálido	Invernadero
San Miguel de Allende	20°54'02''	100°34'56''	2090	Semiárido templado	Invernadero

Con la base de datos de la presencia de ToBRFV se usó el programa MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips *et al.*, 2017) para desarrollar un modelo de idoneidad ambiental. En los análisis se usaron los sitios georreferenciados con presencia de ToBRFV. Se utilizaron 22 variables climáticas como predictores, según Juárez *et al.* (2021) (Cuadro 2), de las cuales 19 fueron bioclimáticas de resolución espacial de 0,5 minutos de arco y fueron obtenidas de la base de datos WorldClim (www.worldclim.org). Los datos digitales de elevación (DEM, con 90 m de resolución) se obtuvieron del portal CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Las capas en formato vectorial de uso de suelo y vegetación se tomaron de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1998), mientras que,

el régimen de humedad del suelo se obtuvo de Maples (1992), ambas en una escala de 1:1000 000.

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados del modelo de distribución potencial, para la presencia de ToBRFV, el 88 % de los municipios del estado Guanajuato presentan zonas de idoneidad para el desarrollo del virus que están en un rango de 0,187 a 1,00 (Figura 1). Las zonas que muestran una idoneidad de 0,75 a 1,00 presentan el clima semiárido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18 °C, temperatura de noviembre a enero menor de 18 °C, temperatura de abril a mayo mayor de 30 °C, precipitación promedio anual que se encuentra en un rango de 600 a 800 mm, donde la precipitación del mes más

seco es menor de 40 mm; las lluvias de verano tienen un índice P/T (el cociente entre la precipitación total anual y la temperatura media

anual de un lugar) menor de 43,2, el porcentaje de lluvia invernal es del 5 al 10,2 % del total anual .

Cuadro 2. Variables ambientales y bioclimáticas utilizadas para conocer la distribución potencial geográfica de ToBRFV en Guanajuato, México

Código	Descripción de variable	Unidades*
Bio1	Temperatura promedio anual	°C
Bio2	Oscilación diurna de la temperatura	°C
Bio3	Isotermalidad	Adimensional
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	CV
Bio5	Temperatura máxima promedio del período más cálido	°C
Bio6	Temperatura mínima promedio del período 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 periodo más lluvioso	mm
Bio14	Precipitación del periodo más seco	mm
Bio15	Estacionalidad de la precipitación	CV
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	m
Bio21	Régimen de humedad	Días
Bio22	Vegetación	23 tipos

CV=coeficiente de variación

De las 22 variables bioclimáticas utilizadas, como predictores en el modelo, tres fueron importantes para explicar la idoneidad ambiental para la presencia de ToBRFV en Guanajuato, estas fueron: precipitación del cuatrimestre más cálido (27,7 %), régimen de humedad (26,4 %) y temperatura mínima promedio del periodo más frío (17,0 %) (Cuadro 3).

La probabilidad de presencia de ToBRFV aumenta (55 %) cuando la precipitación del cuatrimestre cálido presenta un rango de 100 a 200 mm, y disminuye a cero cuando la precipitación es mayor a 400 mm (Figura 2A). Con relación a la humedad del suelo, se estima que la probabilidad de presencia para la proliferación incrementa (60 %), cuando el régimen de humedad supera los 250 días, lo cual es característico de un régimen Ústico

(180 a 270 días de humedad), y la probabilidad disminuye en 10 % cuando los días de humedad son inferiores a 50 días (Figura 2B). Respecto a la temperatura mínima promedio del periodo más frío, la probabilidad de presencia del virus aumenta (60 %) en un rango de temperatura de 18 a 22 °C y disminuye un 5 % cuando la temperatura es inferior a 12 °C, o superior a 22 °C (Figura 2C).

De las 13 muestras de material vegetal de tomate colectadas en los municipios de San Miguel de Allende y Acámbaro, 12 resultaron positivas a la presencia de ToBRFV, según los resultados emitidos por el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del CESAVEG y corroboradas por el Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (CNRF).

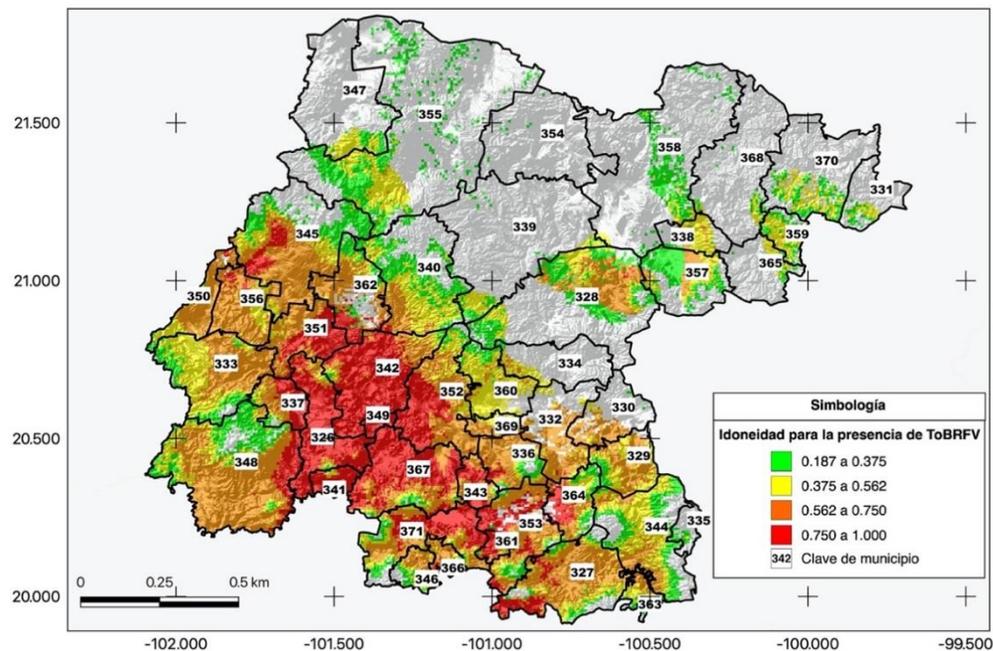


Figura 1. Distribución geográfica potencial de ToBRFV en Guanajuato. Las zonas de alta distribución se indican en color rojo, con disminución gradual de la probabilidad hasta un nivel bajo de color verde. Las áreas de color blanco indican zonas no potenciales

Cuadro 3. Contribuciones (%) de las variables bioclimáticas en el modelo de idoneidad ambiental de ToBRFV en Guanajuato, México

Variable	Contribución (%)
Precipitación del cuatrimestre más cálido (Bio 18)	27,7
Régimen de humedad (Bio 21)	26,4
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (Bio 6)	17,0
Precipitación del cuatrimestre más frío (Bio 19)	12,2
Estacionalidad de la temperatura (Bio 4)	6,6
Estacionalidad de la precipitación (Bio 15)	3,7
Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (Bio 9)	2,4
Precipitación del periodo más lluvioso (Bio 13)	1,5
Altitud (Bio 20)	1,1
Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (Bio 8)	0,5

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio que utiliza el algoritmo MaxEnt para determinar la idoneidad ambiental de ToBRFV en el estado de Guanajuato, generando un mapa con las condiciones ambientales que pueden propiciar la presencia del virus. El algoritmo MaxEnt ha sido utilizado con éxito en la predicción de presencia de otras enfermedades patógenas (Ramos et al., 2019). La probabilidad de presencia de un virus o patógeno, puede proporcionar un riesgo aproximado de transmisión y actuar como

una herramienta temprana para guiar planes de control y prevención (Andreo et al., 2011). Por ejemplo, bajo el modelo MaxEnt se determinó el riesgo de propagación del virus del rizado amarillo de la hoja del tomate (TYLCV) con lo cual se propuso diseñar estrategias para prevenir la introducción y establecimiento del virus en países de América del Sur, en los que aún no se había informado la ocurrencia del virus (Ramos et al., 2019); de igual manera la estimación de la probabilidad de presencia del hongo fitopatógeno *F. oxysporum* en cultivo de fresa, proporcionó una

base para la toma de decisiones para el control y prevención del patógeno, considerando las

localidades propicias para la producción del cultivo (Juárez et al., 2021).

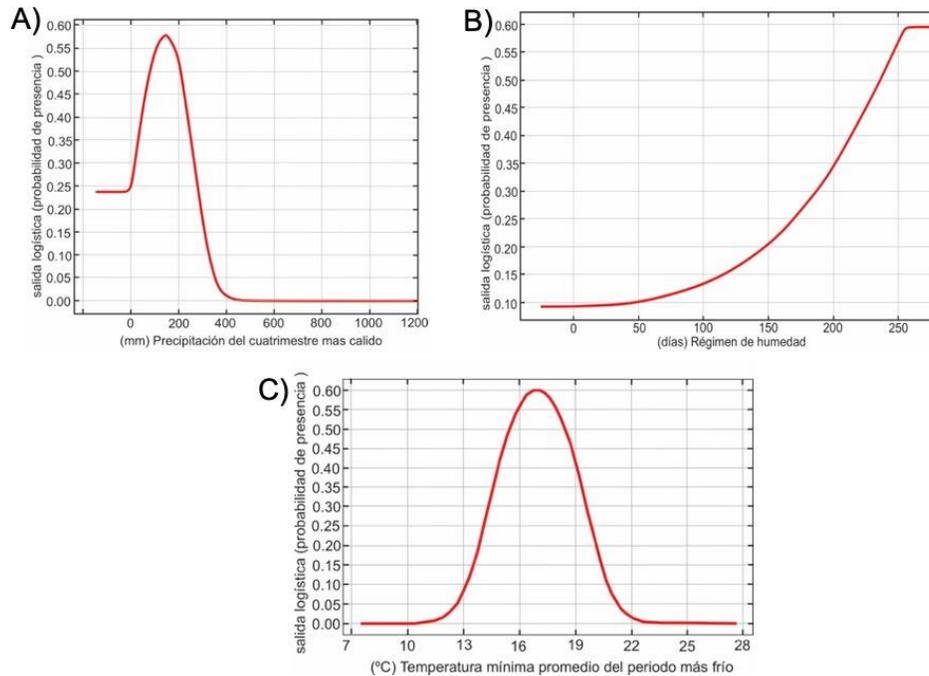


Figura 2. Principales variables bioclimáticas que determinan la probabilidad de presencia de ToBRFV en Guanajuato, México. A) precipitación del cuatrimestre más cálido, B) Régimen de humedad, C) Temperatura mínima promedio del año más frío

El ToBRFV se ha reportado en Alemania, Italia, China, Estados Unidos, Egipto y España (Caruso et al., 2022). En Jordania donde se reportó la primera incidencia de ToBRFV (Salem et al., 2016), las condiciones climáticas fueron templado árido, con temperatura máxima media de 34,7 °C, precipitaciones de 110 a 630 mm (Matouq et al., 2013). Dichas condiciones son similares a las áreas del estado de Guanajuato, donde las variables climáticas que delimitan la idoneidad ambiental para la proliferación del ToBRFV fueron: precipitación del cuatrimestre más cálido, régimen de humedad, temperatura mínima promedio del periodo frío (noviembre-enero), y precipitación del cuatrimestre frío. En este sentido, Ramos et al. (2019) mencionan que las variables relacionadas con temperatura y precipitación son un factor determinante para la presencia de *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) en cultivo de tomate. Se infiere que variables como precipitación, temperatura y régimen de humedad, tienen un papel

fundamental entre la interacción de las plantas hospederas, los vectores, y virus (Trebicki y Finlay, 2019), dado que, pueden tener efectos positivos, negativos o neutros sobre el desarrollo y la gravedad de la enfermedad; además, estos cambios de las condiciones climáticas han contribuido a la aparición del Virus del mosaico del pepino (PepMV), *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) y *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) (Trebicki, 2020).

La probabilidad de presencia es una interpretación de la medida de similitud ambiental, es decir, el valor de idoneidad ambiental para el desarrollo favorable de una especie (Mateo et al., 2011). El modelo MaxEnt sugiere una probabilidad alta de presencia de ToBRFV (0,750 a 1,00) en Irapuato (342) con 71.511 ha, Abasolo (326) con 61.408 ha, Valle de Santiago (367) con 57.761 ha, Salamanca (352) 28.988 ha, Salvatierra (353) con 20.087 ha, Romita (351) con 23.902 ha, y Yuriria (371) con 24.447 ha, que suman un total de 288.104

ha y equivale al 9,4 % de la superficie estatal (Figura 1).

Las condiciones climáticas para la presencia del virus cuando los valores de idoneidad son de 0,750 a 1,00 coinciden con áreas de cultivo de tomate en campo abierto, donde la temperatura óptima para el desarrollo del cultivo es de 18 a 27 °C. Para contrarrestar este hecho, se recomienda que los productores pueden utilizar prácticas culturales como cultivos intercalados, cambio alternativo del sistema de cultivo, eliminación de plantas hospedantes alternativas o de restos de plantas después de la cosecha y deshierbe, y en última instancia controlar la quema de malezas que son una fuente frecuente de inóculo para el cultivo, propiciando la propagación mecánica a través de ropa, o implementos agrícolas (Luria et al., 2017).

En el estado de Guanajuato la superficie de siembra de tomate a campo abierto representa la zona más susceptible a la presencia de ToBRFV, sobre todo cuando la temperatura mínima promedio del periodo frío (noviembre-enero) se encuentre entre los 18 a 22 °C, este efecto de sensibilidad de las plantas con relación al incremento de temperatura, lo reportan Luria et al. (2017), en plantas de pimiento donde los síntomas como lesiones necróticas en tallos mostraron una respuesta hipersensible cuando la temperatura es superior a 30 °C.

CONCLUSIONES

En el estado de Guanajuato, existen las condiciones climáticas para propiciar la incidencia de ToBRFV en el 9,4 % de la superficie estatal. El mapa de idoneidad ambiental para la presencia del virus, generado a partir de puntos de presencia conocida de ToBRFV, puede servir como herramienta para guiar planes de control y prevención del impacto del virus. Las variables climáticas que propician la presencia del virus son la precipitación del cuatrimestre más cálido (27,7 %), el régimen de humedad (26,4 %) y la temperatura mínima promedio del año más frío (17,0 %).

LITERATURA CITADA

- Adams, M., J. Antoniw y J. Kreuze. 2009. Virgaviridae: a new family of rod-shaped plant viruses. *Archives of Virology* 154: 1967-1972.
- Andreo, V., G. Glass, T. Shields, C. Provencal y J. Polop. 2011. Modeling potential distribution of *Oligoryzomys longicaudatus*, the andes virus (Genus: *Hantavirus*) reservoir, in Argentina. *EcoHealth* 8(3): 332-348.
- Cambrón-Crisantos, M., J. Mendoza, J. Valencia, S. Rangel, A. López y L. Ochoa. 2018. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) in Michoacán, Mexico. *Mex. J. Phytopathol.* 37: 185-192.
- Caruso, A.G., S. Bertacca, G. Parrella, R. Rizzo, S. Davino y S. Panno. 2022. *Tomato brown rugose fruit virus*: A pathogen that is changing the tomato production worldwide. *Annals of Applied Biology* 181: 258-274.
- CONABIO. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Uso de suelo y vegetación. Del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) e Instituto Nacional de Ecología (INE). México. <https://n9.cl/gc5y4> (consulta de agosto 2020).
- Dombrovsky, A y E. Smith. 2017. Seed Transmission of Tobamoviruses: Aspects of Global Disease Distribution. pp: 234-260. In: Jose C. Jiménez-López (ed.). *Seed Biology*. IntechOpen. 338 p.
- Galdino, T.V.D.S., S. Kumar, L.S. Oliveira, A.C. Alfenas, L.G. Neven, A.M. Al-Sadi y M.C. Picanco. 2016. Mapping global potential risk of mango sudden decline disease caused by *Ceratocystis fimbriata*. *PLoS One* 11(7): e0159450.
- Hanson, P., S.F. Lu, J. Wang, W. Chen, L. Kenyon, C.W. Tan y D. Ledesma. 2016. Conventional and molecular marker-assisted selection and pyramiding of genes for multiple disease resistance in tomato. *Scientia Horticulturae* 201: 346-354.
- Hanssen, I.M., R. Mumford, D.R. Blystad, I. Cortez, B. Hasiów-Jaroszewska, D. Hristova y M. Ravnkar. 2010. Seed transmission of *Pepino mosaic virus* in tomato. *European Journal of Plant Pathology* 126(2): 145.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2014. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Serie II. Aguascalientes, México. <https://n9.cl/32yj3> (consulta de septiembre 2022).

11. Juárez-García, R.A., D. Sanzón-Gómez, L.F. Ramírez-Santoyo, J.E. Ruiz-Nieto y J. Hernández-Ruiz. 2021. Áreas geográficas susceptibles a *Fusarium oxysporum* en el cultivo de fresa en Guanajuato, México. *Bioagro* 33(1): 51-58.
12. Kumar, S., J. Graham, A.M. West y P.H. Evangelista. 2014. Using district-level occurrences in MaxEnt for predicting the invasion potential of an exotic insect pest in India. *Computers and Electronics in Agriculture* 103: 55-62.
13. Luria, N., E. Smith, V. Reingold, I. Bekelman, M. Lapidot, I. Levin y N. Ezra. 2017. A new Israeli Tobamovirus isolate infects tomato plants harboring Tm-22 resistance genes. *PLoS ONE* 12: 429.
14. Maples, V.M. 1992. Regímenes de humedad del suelo en hidrogeografía IV.6.2 Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México. <https://n9.cl/h5siq> (consulta de agosto 2022).
15. Mateo, R.G., A.M. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 217-240.
16. Matouq, M., T. El-Hasan, H. Al-Bilbisi, M. Abdelhadi, M. Hindiyeh, S. Eslamian y S. Duheisat. 2013. The climate change implication on Jordan: A case study using GIS and Artificial Neural Networks for weather forecasting. *Journal of Taibah University for Science* 7(2): 44-55.
17. Panno, S., A.G. Caruso, G. Blanco y S. Davino. 2020. First report of *Tomato brown rugose fruit virus* infecting sweet pepper in Italy. *New Plant Disease Report* 41: 20.
18. 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.
19. Ramos, R.S., L. Kumar, F. Shabani y M.C. Picanço. 2019. Risk of spread of *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) in tomato crops under various climate change scenarios. *Agricultural Systems* 173: 524-535.
20. Salem, N., A. Mansour, M. Ciuffo, B.W. Falk y M. Turina. 2016. A new Tobamovirus infecting tomato crops in Jordan. *Archives of Virology* 161(2): 503-506.
21. SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2018. Protocolo de Diagnóstico: *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) (Virus del fruto marrón rugoso del jitomate). Tecámac, México. <https://n9.cl/8zrdf> (consulta de agosto 2020).
22. SIAP. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2017 en México. El cultivo de jamaica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F. <http://www.siap.gob.mx/> (consulta de agosto 2020).
23. Trebicki, P y K. Finlay. 2019. Pests and diseases under climate change; its threat to food security. Wiley, N.Y. pp. 229-249.
24. Trebicki, P. 2020. Climate change and plant virus epidemiology. *Virus Research* 286: 198059.
25. Wang, X.Y., X.L. Huang, L.Y. Jiang y G.X. Qiao. 2010. Predicting potential distribution of chestnut phylloxerid (Hemiptera: Phylloxeridae) based on GARP and Maxent ecological niche models. *Journal of Applied Entomology* 134(1): 45-54.
26. Zhang, S., Griffiths, J. S., Marchand, G., Bernards, M. A., Wang, A. 2022. *Tomato brown rugose fruit virus*: An emerging and rapidly spreading plant RNA virus that threatens tomato production worldwide. *Molecular Plant Pathology* 23: 1262-1277.
27. Zinger, A., Lapidot, M., Harel, A., Doron-Faigenboim, A., Gelbart, D., Levin, I. 2021. Identification and mapping of tomato genome loci controlling tolerance and resistance to *Tomato brown rugose fruit virus*. *Plants* 10(179): 1-16.