

Aspectos del desarrollo *in vitro* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* ante un gradiente térmico

Aspects of the *in vitro* development of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* under a thermal gradient

Jennifer Ramos-Rodríguez¹, Gabriela Sánchez-Viveros², Rebeca Alicia Menchaca-García³, Mauricio Luna-Rodríguez²

¹ Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México.

² Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México.

³ Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. José María Morelos 44, Zona Centro, C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México.

RESUMEN

Antecedentes: la vainilla (*Vanilla planifolia*) es fuente de la vainillina. *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* (*Fov*) es el principal problema sanitario del cultivo.

Objetivo: se evaluó el efecto de un gradiente térmico en el desarrollo *in vitro* de cepas de *F. oxysporum* patógenas y no patógenas de *V. planifolia*.

Métodos: se seleccionaron dos cepas de *F. oxysporum* de patogenicidad alta, dos moderadas y dos no patogénicas de *V. planifolia*. Se evaluó el efecto de un gradiente entre 23 y 32 °C en la producción de micelio y esporas de las cepas en caldo papa dextrosa, durante 15 días. Los datos se procesaron mediante ANOVA, pruebas de Tukey y Kruskal Wallis.

Resultados y conclusiones: se encontró diferencia significativa en la producción de biomasa de cinco cepas de *Fov*, excepto para JAGH3 cepa altamente patogénica, la cual creció abundantemente en todas las temperaturas evaluadas. En general, el mayor peso micelial se obtuvo a 28 y 30 °C, el menor a 25 y 32 °C. La producción de esporas de las seis cepas se incrementó significativamente a 23 y 32 °C. Se concluye que *Fov* se desarrolla de forma óptima a 28 y 30 °C en condiciones *in vitro*, con mayor esporulación a 23 y 32 °C.

Palabras clave: fitopatología, pudrición de raíz y tallo, vainilla

ABSTRACT

Background: Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) is a source of vanillin. *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* (*Fov*) is the main health problem of the crop.

Objective: The effect of a thermal gradient on the *in vitro* development of pathogenic and non-pathogenic *F. oxysporum* strains of *V. planifolia* was evaluated.

Methods: Two strains of *F. oxysporum* with high pathogenicity, two with moderate pathogenicity and two with non-pathogenicity of *V. planifolia* were selected. The effect of a gradient between 23 and 32 °C on the production of mycelium and spores of the strains in potato dextrose broth was evaluated for 15 days. The data were processed using ANOVA, Tukey and Kruskal Wallis tests.

Results and conclusions: A significant difference was found in the biomass of five *Fov* strains, except for highly pathogenic strain JAGH3, which grew abundantly at the evaluated temperatures. In general, the highest mycelial weight was obtained at 28 and 30 °C, the lowest at 25 and 32 °C. Spore production of all six strains increased significantly at 23 and 32 °C. It is concluded that *Fov* develops optimally at 28 and 30 °C in *in vitro* conditions, with greater sporulation at 23 and 32 °C.

Keywords: phytopathology, root and stem rot, vanilla

ARTICLE HISTORY

Received: 28 March 2024

Accepted: 31 August 2024

On line: 2 September 2024

CORRESPONDING AUTHOR

✉ Mauricio Luna Rodríguez, email: mluna@uv.mx

Orcid: 0000-0002-1204-9608

INTRODUCCIÓN

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) es un cultivo originario de la región de Papantla localizada en la antigua región central-norte donde se encuentra ubicado hoy en día el estado de Veracruz. Datos más antiguos sugieren que el cultivo se encontraba disperso por la zona donde habitaron los Mayas conocida como Mesoamérica. Siendo Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Quintana Roo, Belice y Guatemala las principales regiones reportadas (Lubinsky *et al.* 2008). Este cultivo se ha propagado a varias regiones del mundo por sus propiedades aromáticas, constituidas principalmente por el compuesto vainillina contenido en sus frutos. La vainilla se propaga clonalmente mediante esquejes, por lo que la variabilidad genética de las plantas es limitada, lo que dificulta el proceso de selección de los mejores genotipos que se adapten a las limitaciones abióticas y bióticas (Koyyappurath *et al.* 2015).

Entre los principales problemas que enfrenta el cultivo se encuentra el patógeno *Fusarium oxysporum* Schleld., especie de amplia distribución listada entre los 10 hongos fitopatógenos más devastadores y de importancia económica en el mundo (Zhang y Ma 2017). En vainilla, *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* (Fov) es el causante de la pudrición de raíz y tallo, que comienza con la generación de lesiones de color café y la muerte de las raíces subterráneas y aéreas, marchitez de hojas y tallo, y eventualmente ocurre el colapso total de la planta (Koyyappurath *et al.* 2015, Adame-García *et al.* 2016). En 2020, en la localidad Mesa de Guadalupe, Veracruz, México, el patógeno ocasionó la muerte de al menos el 95 % de las plantas de un cultivo intensivo bajo malla sombra.

Se ha indicado que la temperatura óptima de crecimiento para *Fusarium* spp. es de 25 a 28 °C (Nelson *et al.* 1981) y que *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* presenta un buen desarrollo en el intervalo entre 20 y 30 °C, con un punto óptimo establecido a 25 °C (Gangadhara *et al.* 2010). Siendo la temperatura uno de los principales factores ambientales al cual se le atribuye ser detonante para el desarrollo de la enfermedad, por su coincidencia con las condiciones favorables para el cultivo de vainilla comprendidos entre 20 y 30 °C y humedad relativa sobre el 70 % (Hernández-Hernández 2011). La alta susceptibilidad de *V. planifolia* a Fov (cepa M21C5) a temperaturas desde 25 a 35 °C fue confirmada por Barreda-Castillo *et al.* (2022).

Sin embargo, surge la interrogante de cómo la amplia diversidad genética entre los aislados de *F. oxysporum* obtenidos a partir de *V. planifolia* reportada por Adame-García *et al.* (2015), Flores-de la Rosa *et al.* (2018) y González-Oviedo *et al.* (2022) responde a gradientes de temperatura, ante los escenarios fitosanitarios que se están generando para los agrosistemas en consecuencia del cambio climático. Para tal fin, en el presente trabajo se evaluaron aspectos del desarrollo *in vitro* de cepas de *F. oxysporum* con diversa capacidad patógena en *V. planifolia*, ante un gradiente térmico entre 23 y 32 °C. Para la selección de este gradiente se tuvo en consideración, que por encima de los 32 °C las plantas de vainilla comienzan a manifestar otras alteraciones fisiológicas. Donde no solo interviene el factor temperatura sino también la humedad, estas son: amarillamiento, pérdida de viabilidad de polen y caída de frutos (Hernández-Hernández 2011, INIFAP 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección del material biológico

Se eligieron seis cepas de *F. oxysporum* con base en su capacidad patogénica: dos altamente patógenas (JAGH3 y N9), dos moderadamente patógenas (28R1 y V7M) y dos no patógenas (H2 y M22C2). Las cepas se aislaron a partir de *Vanilla* sp. de los estados de Veracruz, Nayarit y Oaxaca en México, y pertenecen a la colección del grupo de investigación sobre *Fusarium* del Laboratorio de Genética e Interacciones Planta Microorganismos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana.

Pruebas de patogenicidad de *Fusarium oxysporum* aisladas de *Vanilla planifolia*

Las cepas de *F. oxysporum* se reactivaron en medio agar papa dextrosa (PDA) incubadas a 27 °C durante 7 días y se ratificó la capacidad patogénica de las cepas en hojas de *V. planifolia* en un período de 13 días de acuerdo con Solano-de la Cruz *et al.* (2019). Para ello, cada hoja de vainilla fue desinfectada mediante lavados con solución de detergente durante 10 min, enjuagues con agua estéril e inmersión en solución de cloro de uso doméstico (10 gotas por litro) durante 5 minutos, finalmente, enjuagues con abundante agua estéril. Este procedimiento se realizó en dos ocasio-

nes. Después de la desinfección, se hizo una incisión no mayor a 5 mm sobre el haz de cada hoja con la punta de un bisturí estéril, donde se colocó una porción ($\approx 3 \times 3$ mm) de agar con micelio de *F. oxysporum*, según la cepa en estudio. Cada hoja se colocó en una cámara húmeda individualmente y se mantuvo a 25 - 26 °C por 13 días, con observaciones cada 48 horas. La capacidad patogénica de cada cepa fue evaluada en dos bioensayos independientes. Los criterios para la clasificación de las cepas en patógenas (CP), moderadamente patogénicas (CMP) y no patógenas (CNP) se establecieron a partir del área dañada de la hoja con relación al tiempo (días) de la infección.

Preparación del inóculo

Para inducir la esporulación, las cepas de *F. oxysporum* se cultivaron en medio PDA y se incubaron a 27 °C ± 1 °C durante 15 días. Una vez concluido el tiempo de incubación se obtuvieron las esporas al agregar 4 mL de agua destilada estéril sobre el micelio, provocando inundación en toda la zona de crecimiento del hongo. Se extrajeron 0.8 mL de la suspensión y se colocaron en una "columna de filtración" estéril elaborada con un tubo de microcentrifugación de 1.5 mL con el fondo escindido, que en el interior contenía una membrana de algodón. Para la centrifugación, la columna de filtración se introdujo en un tubo de microcentrifugación de 1.5 mL estéril y se aplicaron 10 000 rpm durante 5 min. A continuación, se retiró el sobrenadante y el precipitado (esporas) se resuspendió con 3 mL de agua destilada estéril. Se cuantificó el número de esporas utilizando la cámara de Neubauer y posteriormente se preparó una suspensión de esporas a 1×10^6 UFC x mL⁻¹.

Desarrollo de *F. oxysporum* ante el gradiente térmico

Para evaluar el desarrollo de las cepas se cuantificó la biomasa por peso seco y se analizó la formación de esporas. Para ello, se establecieron cultivos en matraces Erlenmeyer de 250 mL en medio líquido formulado con 50 mL de caldo papa dextrosa adicionado con 5 μ L de la suspensión de esporas (1×10^6 células/mL) de cada cepa de *F. oxysporum* en estudio. Los cultivos se incubaron durante 15 días a temperatura constante, según el valor evaluado (23, 25, 28, 30 y 32 °C). Se emplearon cinco réplicas para cada cepa por cada temperatura evaluada. Las incubadoras mi-

crobiológicas usadas para las pruebas se calibraron mediante mediciones diarias con termómetros de mercurio calibrados durante un mes previo al desarrollo de las pruebas. La temperatura se monitoreó diariamente durante los bioensayos. A los 15 días de incubación se retiró 1 mL de medio de cada cultivo para realizar el conteo de esporas en cámara de Neubauer; el volumen restante del cultivo se filtró al vacío con membranas de celulosa F1091chm. Previamen- te, se determinó el peso constante de cada pieza de membrana de filtración a 80 °C. El valor de la biomasa se obtuvo al calcular la diferencia entre el peso seco de la membrana de filtración con el micelio y el peso inicial de la membrana de filtración. Para cada tempe- ratura evaluada se incorporó un tratamiento control de esterilidad del medio de cultivo que consistió en caldo papa dextrosa sin inóculo fúngico.

Análisis Estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar estructu- rado con cinco valores de temperatura (23, 25, 28, 30 y 32 °C) para cada cepa evaluada, con cinco réplicas para el análisis del peso seco del micelio y tres réplicas para el número de esporas. Para determinar las diferencias entre los tratamientos se aplicó ANOVA de una vía y la prueba post hoc Tukey ($P=0.05$) cuan- do los datos cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de las varianzas. Los datos que no cumplieron estos supuestos fueron analizados por la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Los análisis se desarrollaron con el software InfoStat versión 2020.

RESULTADOS

Pruebas de patogenicidad realizadas en hojas de *Vanilla planifolia*

Se seleccionaron seis cepas en cuanto al grado de patogenicidad mostrado en hojas de *V. planifolia*. Aquellas cepas que al pasar los 13 días de evaluación no mostraron daño a la hoja y estas permanecieron verdes y turgentes se clasificaron en no patógenas, por su parte aquellas que mostraron un daño mode- rado comenzando la necrosis a los 9 días se clasifica- ron en cepas moderadamente patogénicas y aquellas que mostraron un daño acelerado a la hoja desde el día siete se clasificaron en cepas altamente patóge- nas (Figura1).

Desarrollo de *F. oxysporum* ante el gradiente térmico

Se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) en el desarrollo de biomasa de las cepas de *F. oxysporum* N9, 28R1, V7M, H2 y M22C2 en el gradiente térmico evaluado, sin importar su carácter patogénico (Figura 2). Particularmente, cinco de las seis cepas tuvieron su punto óptimo de desarrollo entre 28 y 30 °C al alcanzar los valores mayores de biomasa. Temperaturas de 25 y 32 °C fueron menos favorables para la producción de micelio. Un caso extraordinario

lo constituye la cepa JAGH3 (altamente patogénica) que mantuvo la producción de biomasa sin diferencias significativas en todas las temperaturas evaluadas (Figura 2 F).

La producción de esporas mostró diferencias con significancia estadística para cinco de las cepas ante el gradiente térmico. De manera general, se observó que la producción de esporas se estimuló a 23 y 32 °C, y que la producción más baja se obtuvo entre los 28 y 30 °C (Figura 3). La cepa N9 se diferenció del resto de las cepas por generar mayor número de esporas a 25 y 32 °C.

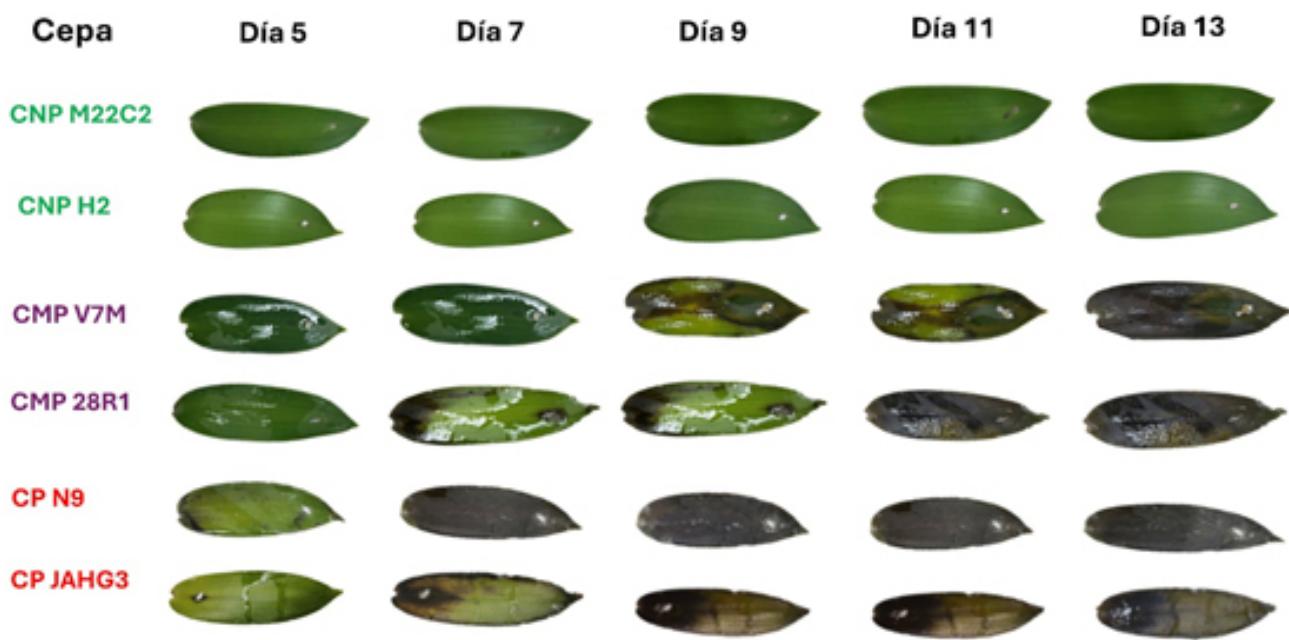


Figura 1. Pruebas de patogenicidad realizadas en hojas de *Vanilla planifolia* evaluadas durante 13 días.

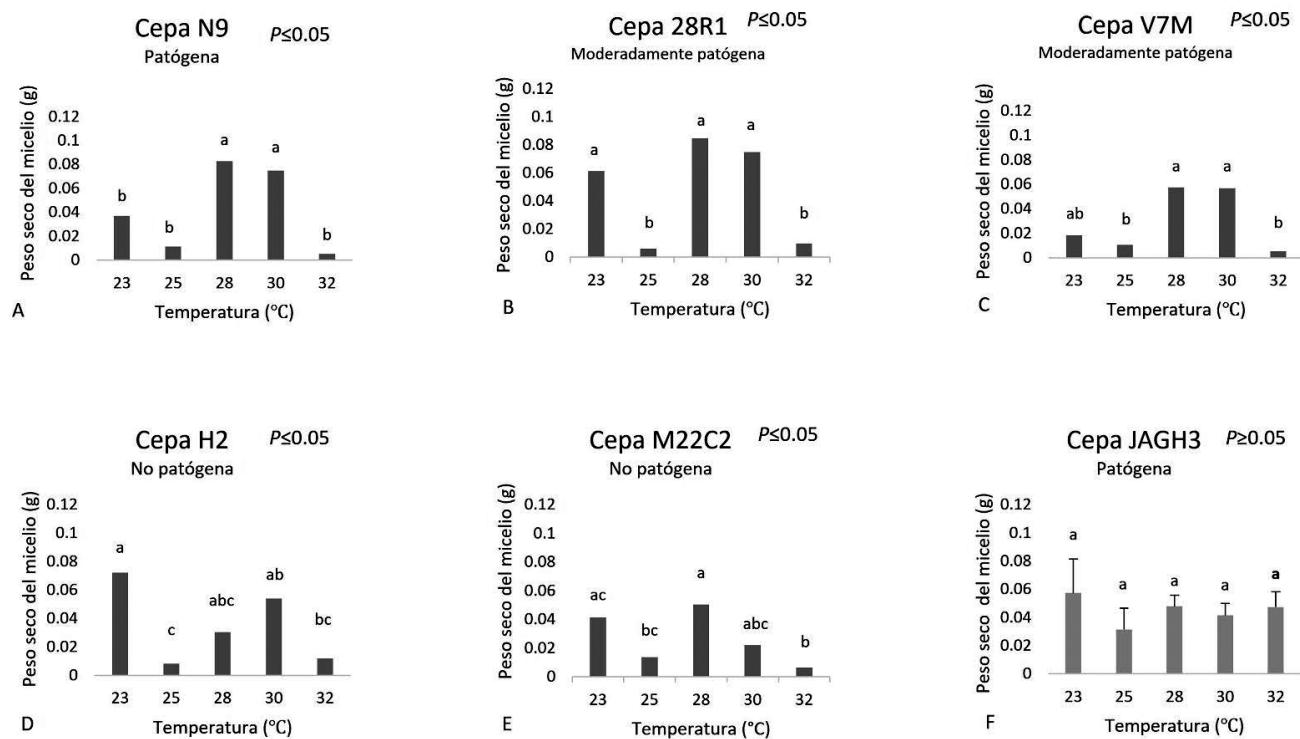


Figura 2. Peso seco del micelio (biomasa) de las cepas N9 (A), 28R1 (B), V7M (C), H2 (D), M22C2 (E) y JAGH3 (F) de *F. oxysporum* endófito de *Vanillae* sp. desarrolladas a 23, 25, 28, 30 y 32 °C en caldo papa dextrosa durante 15 días. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas entre los tratamientos (A, B, C, D y E, Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$; F, Tukey, $P \leq 0.05$).

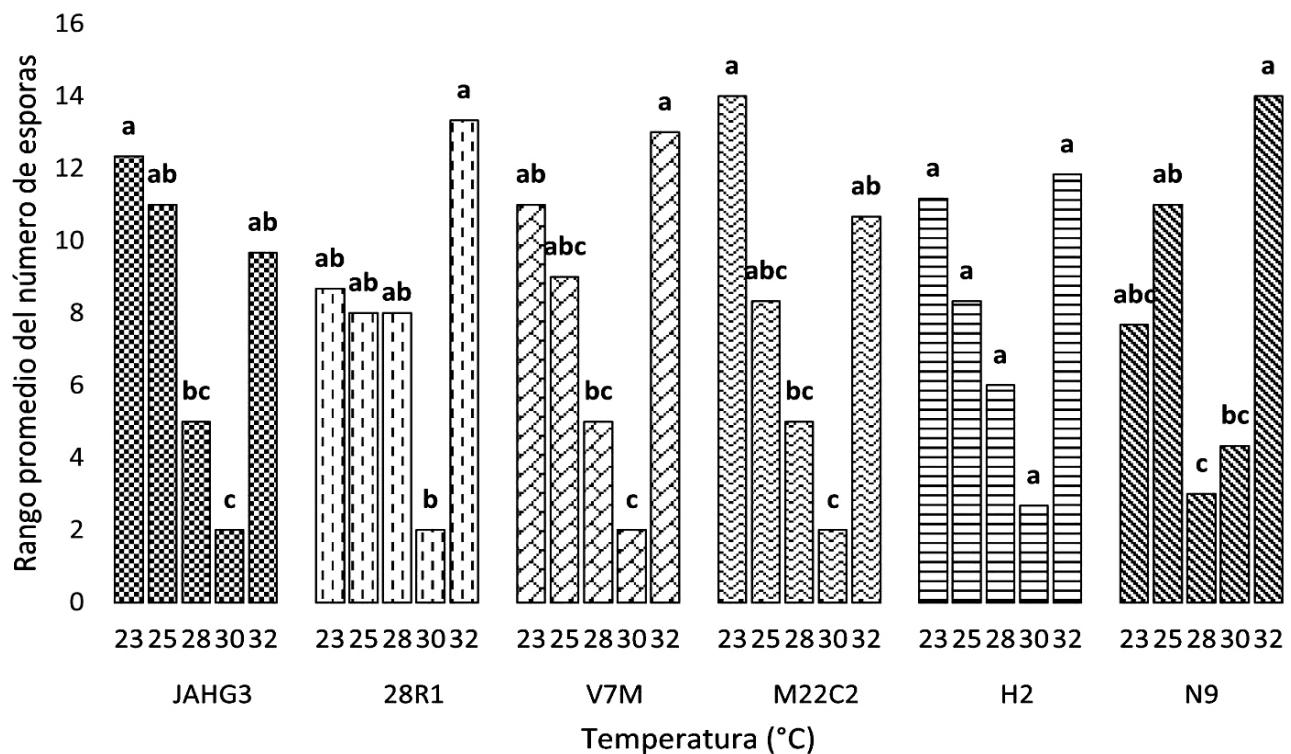


Figura 3. Número de esporas de las cepas de *F. oxysporum* N9, 28R1, V7M, H2, M22C2 y JAGH3 desarrolladas a 23, 25, 28, 30 y 32 °C en caldo papa dextrosa durante 15 días. Letras diferentes sobre las barras en un mismo grupo indican diferencias significativas entre los tratamientos Kruskal Wallis, $P \leq 0.05$.

DISCUSIÓN

La temperatura es un factor importante en el desarrollo de todo microorganismo, a medida que la temperatura disminuye o aumenta a partir del punto óptimo, los microorganismos disminuyen la velocidad a la que se desarrollan. En este estudio se observó que cinco de las seis cepas evaluadas tuvieron limitaciones en el desarrollo del micelio a 25 °C, por lo que se tienen elementos para proponer que, de manera general, las variantes de *F. oxysporum* aislados de *V. planifolia*, tienen un punto óptimo de desarrollo *in vitro* entre 28 y 30 °C, sin importar el carácter patogénico, lo cual, en cierto grado difiere de la propuesta de Nelson *et al.* (1981) para el género y en mayor grado a la propuesta de Gangadhara *et al.* (2010) para *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* quienes establecen el punto óptimo a 25 °C.

Resultados similares de inhibición del crecimiento del micelio a 25 °C y estimulación a 30 °C fueron obtenidos por Veneros-Terrones *et al.* (2017) para el crecimiento *in vitro* de *F. oxysporum* ante el gradiente térmico de 8, 17, 25, 30 y 40 °C. Por su parte, Ezrari *et al.* (2021) encontraron que los cultivos de *F. oxysporum* y *F. solani* se desarrollaron mejor a 30 °C, al evaluar un rango térmico desde 5 a 40 °C. En formas especiales de *F. oxysporum* se ha comprobado un comportamiento distinto, Santamarina *et al.* (2003) determinaron que *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* tuvo mayor crecimiento a 25 °C, tal como se ha propuesto para especies como *F. equiseti* y *F. brachygibbosum* (Ezrari *et al.* 2021).

El comportamiento característico mostrado por la cepa JAGH3, que no tuvo limitaciones en su desarrollo a 32 °C, demostró que existen cepas capaces de desarrollarse a temperaturas fuera del rango óptimo de crecimiento, como lo indicaron Ezrari *et al.* (2021), al observar que cepas de *Fusarium* sp. resultaron tolerantes a 35 °C con crecimiento óptimo del micelio a 30 °C. El hecho de que existan cepas de alta capacidad patogénica, aptas para tener un crecimiento normal a temperaturas superiores al punto óptimo, como lo demostró la cepa JAGH3, tiene importantes implicaciones sobre el cultivo de vainilla. Teniendo en cuenta que, en combinación con el incremento de la temperatura ambiental debido al cambio climático, puede representar un peligro potencial, considerando las alteraciones fisiológicas que presenta

V. planifolia a temperaturas mayores de 32 °C. Entre ellas se encuentran el amarillamiento reportado por Hernández- Hernández (2011) y la afectación del desarrollo de raíces reportado por Barreda-Castillo *et al.* (2022).

En este estudio se encontró discrepancia respecto a la declaración de Ramos-Quintana *et al.* (2017), quienes indicaron que a temperaturas mayores de 30 °C se inhibe el desarrollo de *Fov*, sugiriendo a la vez, que hay menor probabilidad de que mantenga la capacidad de causar enfermedad. En este sentido, un estudio sobre el comportamiento de la patogenicidad de *Fov* en *V. planifolia* ante el gradiente térmico de 25, 30 y 35 °C demostró que a 25 y 30 °C el patógeno afecta considerablemente las plantas, hasta causar la muerte en el transcurso de 60 días y que a 35 °C las plantas no murieron, pero se provocó daño en el 50 % de la raíz, por lo que se postuló que la capacidad del patógeno persiste aún a temperaturas fuera de su rango óptimo de desarrollo (Barreda-Castillo *et al.* 2022).

La generación de esporas es una estrategia de supervivencia de los hongos al estar limitados o en peligro. Entre los factores implicados en la esporulación se encuentran la temperatura, la actividad del agua y su interacción en el tiempo (Camardo *et al.* 2018). Se ha demostrado que valores de temperatura fuera del punto óptimo inducen una mayor esporulación en cultivos mixtos que en cultivos puros (Chauvet *et al.* 1998), sugiriendo que la respuesta de los hongos a la temperatura en condiciones naturales podría ser aún más compleja.

CONCLUSIONES

Fusarium oxysporum f. sp. *vanillae* se desarrolla de forma óptima a 28 y 30 °C en condiciones *in vitro*, con mayor esporulación a 23 y 32 °C. En nuestro estudio se observó que sin importar el carácter patogénico las cepas se desarrollaron abundantemente ante estas temperaturas y excepcionalmente una cepa altamente patógena (JAGH3) creció sin diferencias estadísticas en todo el gradiente térmico probado. Por lo que se puede concluir que no se encontró una relación entre la patogenicidad y la adaptabilidad a las diferentes temperaturas.

La diversidad genética reportada para el patógeno contribuye a la existencia de cepas con alta capaci-

dad patogénica aptas para crecer de manera normal a temperaturas superiores al punto óptimo, lo que genera interrogantes en relación con los beneficios que obtienen los individuos que presentan esta cualidad y su impacto en los cultivos de vainilla, bajo las proyecciones del incremento en la temperatura de los agrosistemas debido al cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

La primera autora agradece al CONAHCYT por la beca proporcionada para realizar la maestría en Ciencias Agropecuarias en la Universidad Veracruzana. Se agradece también al CONAHCYT por el financiamiento al proyecto 297484 "Estrategias para la adaptación y mitigación al cambio climático necesarias para el rescate del cultivo de la vainilla en México".

LITERATURA CITADA

Adame-García J, Luna M, Iglesias LG. 2016. Vanilla Rhizobacteria as antagonists against *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. International Journal of Agriculture and Biology 18, 23-30. <http://dx.doi.org/10.17957/IJAB/15.0053>

Adame-García J, Rodríguez-Guerra R, Iglesias-Andreu LG, Ramos-Prado JM, Luna-Rodríguez M. 2015. Molecular identification and pathogenic variation of *Fusarium* species isolated from *Vanilla planifolia* in Papantla Mexico. Botanical Sciences 93, 669-678. <https://doi.org/10.17129/botsci.142>

Barreda-Castillo JM, Menchaca-García RA, Pérez-Silva A, Sánchez-Coello NG, Luna-Rodríguez M. 2022. Influence of temperature on the infectivity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* in *Vanilla planifolia* and in hybrids *V. planifolia* x *V. pompona*. Biotecnia XXV, 177-183. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1737>

Camardo-Leggieri M, Decontardi S, Battilani P. 2018. Modelling the sporulation of some fungi associated with cheese, at different temperature and water activity regimes. International Journal of Food Microbiology 278, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.04.023>

Chauvet E, Suberkropp K. 1998. Temperature and sporulation of aquatic Hyphomycetes. Applied and Environmental Microbiology 64, 1522-1525.

Ezrari S, Radouane N, Tahiri A, Amiri S, Lazraq A, Lahlali R. 2021. Environmental effects of temperature and water potential on mycelial growth of *Neocosmospora solani* and *Fusarium* spp. causing dry root rot of citrus. Current Microbiology 78, 3092-3103. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02570-1>

Flores-de la Rosa FR, De Luna E, Adame-García J, Iglesias-Andreu LG, Luna-Rodríguez M. 2018. Phylogenetic position and nucleotide diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* worldwide based on translation elongation factor 1α sequences. Plant Pathology 67, 1278-1285. <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.12847>

Gangadhara NB, Nagaraja R, Basavaraja MK, Krishna NR. 2010. Variability studies of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* isolates. International Journal of Science and Nature 1, 12-16.

González-Oviedo NA, Iglesias-Andreu LG, Flores-de la Rosa FR, Rivera-Fernández A, Luna-Rodríguez M. 2022. Genetic analysis of the fungicide resistance in *Fusarium oxysporum* associated to *Vanilla planifolia*. Mexican Journal of Phytopathology 40, 330-348. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2203-3>

Hernández-Hernández, J. 2011. Vanilla diseases. In: Havin-Frenkel D, Belanger F. (eds.). Handbook of vanilla science and technology. Londres, Wiley-Blackwell. Pp 27. <https://doi.org/10.1002/9781444329353.ch2>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2016. Paquete tecnológico para cultivar vainilla en San Luis Potosí. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste, México.

Koyyappurath S, Conéjero G, Dijoix JB, Lapeyre-Montès F, Jade K, Chiroleu F, Gatineau F, Verdeil JL, Besse P, Grisoni M. 2015. Differential responses of vanilla accessions to root rot and colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-vanillae*. Frontiers in Plant Science 6, 1125. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01125>

Lubinsky P, Bory S, Hernández J, Kim SCH, Gómez-Pompa A. 2008. Origins and dispersal of cultivated vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae]). Economic Botany 62, 127-138.

Nelson PE, Toussoun TA, Cook RJ. 1981. *Fusarium*: Diseases, biology, and taxonomy. Pennsylvania State University Press, Pennsylvania.

Ramos-Quintana F, Bautista-Hernández A, Sotelo-Navar H. 2017. Relación de la temperatura y humedad relativa con el brote del hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8, 713-720. https://www.redalyc.org/articulo_oa?id=263150932019

Santamarina MP, Rosello J, Barceló S, Marin S. 2003. Efecto de la actividad del agua y de la temperatura sobre el comportamiento de *Penicillium oxalicum* frente a *Fusarium oxysporum*. Revista Iberoamericana de Micología 20, 154-159.

Solano-de la Cruz MT, Adame-García J, Gregorio-Jorge J, Jiménez-Jacinto V, Vega-Alvarado L, Iglesias-Andreu LG, Escobar-Hernández EE, Luna-Rodríguez M. 2019. Functional categorization of de novo transcriptome assembly of *Vanilla planifolia* Jacks. potentially points to a translational regulation during early stages of infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. BMC Genomics, 20, 826. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6229-5>

Veneros-Terrones R, Cerna-Rebaza L, Chico-Ruiz J. 2017. Efecto de la temperatura en el crecimiento de *Fusarium oxysporum* y *Alternaria solani*. Sagasteguiana 5, 1-6. <https://revistas.unir.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/2610>

Zhang Y, Ma LJ. 2017. Deciphering pathogenicity of *Fusarium oxysporum* from a phylogenomics perspective. Advances in Genetics 100, 179-209. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2017.09.010>