

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

# Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947  
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



**Ciencias**  
**Exactas,**  
**Naturales**  
**y de la Salud**

**75**

**ANIVERSARIO**

**Año 13 N° 37**

**Mayo - Agosto 2022**

**Tercera Época**

**Maracaibo-Venezuela**

## Producción y vías de síntesis del ácido indol acético en *Fusarium oxysporum*

Lizeth Amairani Alanís-Rodríguez \*  
Guadalupe Rodríguez-Castillejos \*\*  
Efrén Garza-Cano \*\*\*  
Amanda Oliva-Hernández \*\*\*\*  
José Luis Hernández-Mendoza \*\*\*\*\*  
Israel García-León \*\*\*\*\*

### RESUMEN

El hongo *Fusarium oxysporum* Schldtl es un agente fitopatógeno que tiene amplia distribución en el mundo, atacando cultivos anuales y perennes de diversas familias, como las solanáceas, cucurbitáceas y gramíneas; y en infección avanzada la apariencia de las plantas es marchitamiento y muerte. *F. oxysporum* puede producir ácido indol acético, que puede estar involucrado en el proceso patogénico de este hongo sobre sus hospederos. En este caso, empleando una cepa asilada de rizosfera de zarzamora, se estudiaron las rutas de síntesis del ácido indol acético (AIA), usando medio de cultivo LB adicionado o no con triptofano, principal cofactor en este tipo de estudios. El objetivo del estudio es determinar si *Fusarium oxysporum* cepa Poxy05 es capaz de producir el AIA y las vías que emplea en ello. Para esto se aplicaron estándares comerciales para la detección por HPLC de los compuestos clave que intervienen en las vías de síntesis del AIA. Los resultados muestran que esta cepa produce AIA por la ruta del indol acetamida (IAM), una vía de la ruta Triptofano-Dependiente. Los compuestos involucrados en las rutas Triptofano-Independiente no fueron detectados, por lo que se estima que la IAM es la única vía empleada por el hongo en la síntesis del IAA.

PALABRAS CLAVE: Fisiología, triptofano dependiente, triptofano independiente, indol acetamida.

\* Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Tecnología de Alimentos. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5410-1515>. E-mail: Lizethalanisr@outlook.com

\*\*Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Tecnología de Alimentos. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0205-9340>. E-mail: gcastillejos@uat.edu.mx

\*\*\* Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Tecnología de Alimentos. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7541-0475>. E-mail: efren@uat.edu.mx

\*\*\*\* Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica. Lab. de Biotecnología Experimental. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8904-2164>. E-mail: aoliva@ipn.mx

\*\*\*\*\* Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica. Lab. de Biotecnología Experimental. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1233-0133>. E-mail: jhernandezm@ipn.mx

\*\*\*\*\* Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica. Lab. de Biotecnología Experimental. Reynosa, Tamaulipas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7876-1219>. E-mail: igarcial@ipn.mx

Recibido: 25/02/2022

Aceptado: 06/04/2022

## Production and synthesis pathways of indole acetic acid in *Fusarium oxysporum*

### RESUMEN

The fungus *Fusarium oxysporum* Schltdl is a phytopathogenic agent that is widely distributed throughout the world, attacking annual and perennial crops of various families, such as solanaceae, cucurbits and grasses; and in advanced infection the appearance of the plants is wilting and death. *F. oxysporum* can produce indole acetic acid, which may be involved in the pathogenic process of this fungus on its hosts. In this case, using an isolated strain of blackberry rhizosphere, the synthesis pathways of indole acetic acid (IAA) were studied, using LB culture medium with or without tryptophan, the main cofactor in this type of study. The objective of the study is to determine if *Fusarium oxysporum* strain Poxy05 is capable of producing IAA and the pathways it uses to do so. For this, commercial standards were applied for the detection by HPLC of the key compounds that intervene in the IAA synthesis pathways. The results show that this strain produces IAA via the indole acetamide (IAM) pathway, a Tryptophan-Dependent pathway. The compounds involved in the Tryptophan-Independent pathways were not detected, so it is estimated that IAM is the only pathway used by the fungus in the synthesis of IAA.

KEY WORDS: Physiology, tryptophan dependent, tryptophan independent, indole acetamide.

### Introducción

El hongo *Fusarium oxysporum* (Ascomicota: Nectriaceae) causa grandes pérdidas en cultivos como: tomate, chile, calabaza, sorgo, maíz y otros. Los síntomas son el marchitamiento de la planta o fusariosis (Di Pietro *et al.*, 2003; Forero-Reyes *et al.*, 2018; Villa *et al.*, 2014; Leyva-Mir, *et al.*, 2017). El hongo se encuentra en la rizosfera de las plantas, desde donde puede iniciar la colonización de la raíz gracias a una serie de enzimas como las proteasas y las glucanasas. Permanece en suelo en forma de macroconidias; o como microconidias (Retana *et al.*, 2018). En medios de cultivo puede formar clamidosporas en medio de las hifas. Los daños causados involucran el bloqueo de los haces conductores, por deposiciones de geles de calosas y tilosas. En cultivos resistentes a este hongo, se ha observado que intervienen flavonoides como las catequinas que inactivan enzimas fúngicas (González *et al.*, 2012). En *F. oxysporum* razas F1 y F4

en Sudáfrica se han descrito 99 proteínas del proteoma que intervienen en el proceso virulento del hongo en cebolla, de las cuales 59 son proteínas únicas del proceso (Sun *et al.*, 2014).

Por otra parte, los hongos del género *Fusarium* se les reporta como fitopatógenos en países como: Israel, Jordania, Líbano, Mozambique, Colombia, México (Zheng *et al.*, 2013; Maymon *et al.*, 2020). Sin embargo, se ha descrito que en las interacciones con plantas afectadas pueden producir el ácido indol acético, principal hormona de crecimiento y desarrollo en vegetales (Guruprasad *et al.*, 2011; Hasan, 2002; Woodward y Bartel 2005; Teale *et al.*, 2006; Luo *et al.*, 2016; Bin & Hasnul, 2017). Esta hormona también es producida por bacterias rizosféricas (Carreño-López *et al.*, 2000; Spaepen *et al.*, 2007; Ali *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2018); hongos como el *Trichoderma* spp, *Colletotrichum acutatum* y *Ustilago maydis* (Chung *et al.*, 2003; Reineke *et al.*, 2008); y levaduras como *Rhodosporidiobolus fluviales* y *R paludigenum* (Bunsangiam *et al.*, 2019); y por supuesto por las mismas plantas (Mano y Nemoto, 2012). Se ha propuesto que los microorganismos usan el AIA en las interacciones, como parte de la elusión de los mecanismos de defensa y como parte de las estrategias de colonización (Spaepen *et al.*, 2007).

Las rutas de síntesis del AIA que se reportan son de dos tipos, dependiendo del precursor empleado (Princen *et al.*, 1993; Hernandez-Mendoza *et al.*, 2008; Uribe-Bueno *et al.*, 2019). Una de ellas es llamada Triptofano Dependiente, y de ella se conocen 4 vías de acuerdo con los compuestos auxínicos clave que en ella intervienen. Así, la vía del ácido indol Pirúvico (IPyA), Indol acetamida (IAM o ACM), la vía de la Triptamina (TRM) y la vía del Indol acetónitrilo (IAN) (Zakharova *et al.*, 1999; Mano & Nemoto, 2012; Naturatat *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2018). De todas ellas, la última tal vez es la que más atención ha recibido por ser la vía de liberación de la molécula nitrogenada, al pasar de este compuesto al AIA, y es la vía por la cual los microorganismos realizan la fijación biológica de nitrógeno (Uribe-Bueno *et al.*, 2019).

Otras rutas de síntesis de AIA han sido reportadas, las cuales no tienen al TRP como precursor, por lo que son denominadas rutas Triptofano-Independiente (Princen *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2004; Mano y Nemoto, 2012). De esta ruta se describen la vía del ácido antranílico (AAN) (Wang *et al.*, 2015) y la del indol-3-glicerol fosfato (Carreño-López *et al.*, 2000; Aguilar-Piedras *et al.*, 2008). La primera vía, la del indol, se desprende de la catálisis de azúcares como la glucosa,

pasa a Indol y de ahí puede pasar al AIA o por acción de la TRP-asa servir de sustrato, para que con la adición de una serina convertirse en TRP. La otra vía se origina del ácido siquímico, que se transforma en ácido corísmico, y de ahí al AAN (Princen *et al.*, 2000; Uribe-Bueno *et al.*, 2019). De este compuesto pasa al indol y de ahí como se mencionó en la vía del Indol, convertirse en AIA o en TRP (Howden, *et al.*, 2009; Sant'anna, *et al.*, 2011; Uribe-Bueno *et al.*, 2019).

## 1. Materiales y Métodos

La cepa de *Fusarium oxysporum* Poxy05 fue proporcionada por el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán (CIIDIR-IPN) y fue aislada de suelo rizosférico de zarzamora. El aislamiento y mantenimiento de la cepa se empleó medio agar YEM. Para los ensayos, se prepararon tubos falcon de 50 mL, con 20 mL de medio de cultivo líquido adicionados o no con 100 ppm de triptofano, los cuales fueron inoculados con un disco de 5 mm de la zona de crecimiento del hongo. Posteriormente, los tubos fueron incubados por 96 h a 150rpm y 37°C. Los ensayos se hicieron por triplicado y se tomaron muestras cada 12 horas hasta las 96h post inoculación. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm durante 15 min, y recuperado el sobrenadante, que fue enseguida filtrado con membranas de 0.45µ y depositados en viales para enviar al HPLC.

Para la determinación de los compuestos, se emplearon estándares de los compuestos auxínicos, clave en la determinación de las vías de síntesis. De cada compuesto se realizó previo a la determinación en las muestras, una curva de calibración con coeficiente de determinación de Person ( $R^2 > 0.98$ ). Los compuestos son Triptofano (TRP, Sigma-Aldrich™), ácido indol acético (AIA, Fulka™), Triptamina (TRM, Aldrich™), Indol 3 acetonitrilo (IAN, Aldrich™), Indol acetamida (IAM, Aldrich™), ácido indol pirúvico (IPyA, Sigma™) ácido antranílico (AAN) y el Indol (IND). Las condiciones de corrida fueron fase móvil de 80:20 (fosfatos: acetonitrilo) pH 3.1, longitud de onda de 300 nm, un flujo de 1 mL/min, un volumen de inyección de 20 µL en una columna Ultrasphere C-18™ 150\*4.6 MM 300C (Hernández-Mendoza *et al.*, 2012).

Los datos fueron graficados empleando el programa de Excell de Microsoft.

## 2. Resultados

El hongo *Fusarium oxysporum* cepa Poxy05, produce la hormona de crecimiento vegetal Ácido Indol Acético (AIA) en el medio de cultivo YEM, y las concentraciones pueden variar entre 5 a las 20 ppm, y su producción está influenciada por la presencia de Triptofano en el medio de cultivo.

Los compuestos auxínicos que fueron detectados muestran la presencia únicamente del indol acetamida (IAM), y la cinética realizada mostró que la cantidad producida es pequeña y prácticamente desaparece a las 36 h post inoculación, para mantenerse estable entre las 60 y 96 horas. Así mismo, la cinética de producción está influenciada fuertemente por la presencia del triptofano, y cuando es adicionado en el medio de cultivo como cofactor de crecimiento bacteriano, la vía del IAM se inhibe completamente (Figura 1).

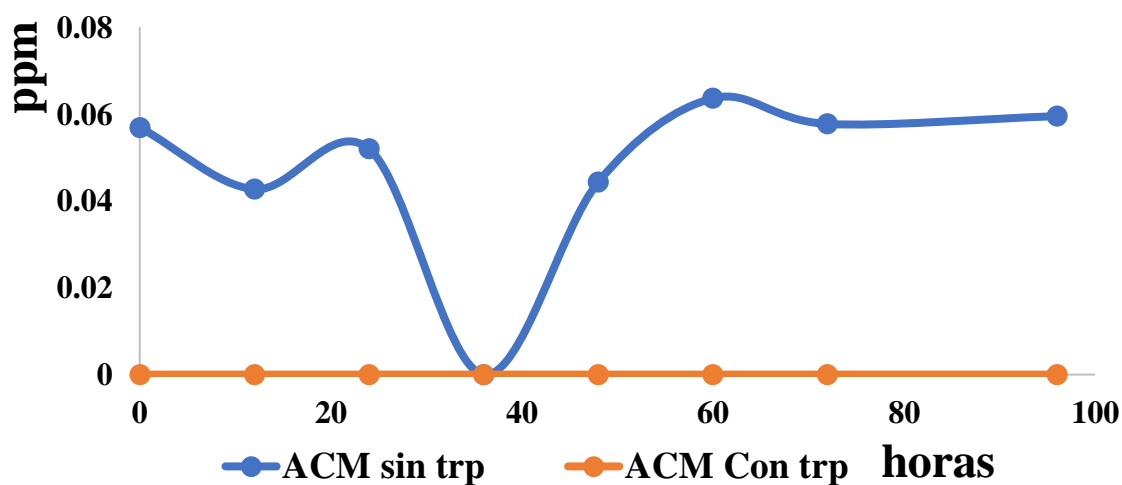


Figura 1. Cinética de producción del indol acetamida (ACM) en medio de cultivo YEM adicionado o no con triptofano.

Por otra parte, en la figura 2 se observa que la presencia de triptofano influye en la producción del AIA, siendo ligeramente más alta en el medio de cultivo adicionado con el aminoácido, y alcanza a producir casi tres veces la cantidad cuando el medio está suplementado.

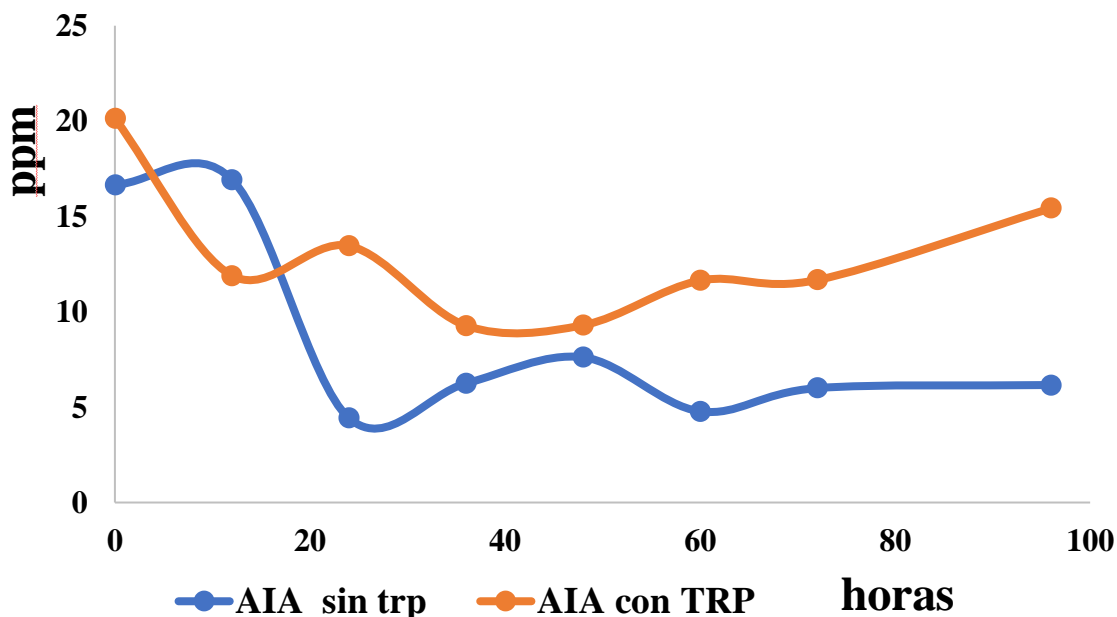


Figura 2. Cinética de producción por *Fusarium oxysporum* cepa Poxy05 del ácido indol acético en medio YEM adicionado o no con triptofano.

A partir de los análisis realizados por HPLC de los compuestos auxínicos clave que participan en las rutas de síntesis del ácido indol acético, se estima que la única vía de síntesis que posee la cepa de este hongo empleada en este trabajo es el indol acetamida (IAM), ya que los demás compuestos no fueron detectados con la metodología empleada.

Por otra parte, compuestos como la kinurenina, el ácido antranílico y el indol no fueron detectados, y ellos son parte fundamental en la vía de síntesis denominada Triptofano Independiente.

### 3. Discusión

Los resultados del presente trabajo permiten confirmar que el hongo *Fusarium oxysporum* produce la hormona de crecimiento vegetal, ácido indol acético, cualidad que previamente había sido reportada en otros aislados hindúes (Woodward *et al.*, 2005; Tale *et al.*, 2006; Gurjar *et al.*, 2009; Luo *et al.*, 2016), y algunos países africanos (Sun *et al.*, 2014); y ahora con la Poxy05, en una cepa mexicana aislada de suelo rizosférico. En este mismo sentido, las cepas de la India fueron

asiladas de arroz, y las africanas de maíz, que es de donde se desprende la detección del AIA (Harikrishnan *et al.*, 2014). En este caso, es la primera vez que se reporta un aislado mexicano con la capacidad de síntesis de este compuesto, y a diferencia de las otras cepas que fueron aisladas de gramíneas, esta fue obtenida de Zarzamora, que es una planta perenne.

En este trabajo se adicionó el triptofano al medio de cultivo LB, ya que anteriormente había sido reportado como cofactor en la producción del ácido indol acético (Princen *et al.*, 1993; Ghosh & Basu, 2002; Idris *et al.*, 2007; Hernández-Mendoza *et al.*, 2008; Mohite, 2013; Uribe-Bueno *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021). Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la producción es más elevada en los medios adicionados con el TRP. La producción del AIA no es limitativo a especies fúngicas (Chung *et al.*, 2003; Reineke *et al.*, 2008; Uribe-Bueno *et al.*, 2019), ya que también ha sido reportado en bacterias rizosféricas como *B japonicum*, *Rhizobium* spp, *A brasilense*, (Spaepen *et al.*, 2007; Hernández-Mendoza *et al.*, 2008; Ali *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2021).

La vía de la Triptamina (TRM) anteriormente ha sido descrita en bacterias como *Bacillus cereus* y *Azospirillum brasilense* (Hartman *et al.*, 1983; Spaepen *et al.*, 2007; Ali *et al.*, 2009), y ausente en otras bacterias como *Arthrobacter pascens* cepa ZZ21 (Li *et al.*, 2018); al igual que en este caso, en el *F oxysporum*. En levaduras como *Rhodosporidiobolus fluviales* DMKU-CP293 y *R paludigenum* esta ruta también ha sido reportada, ampliando el rango de organismos que la emplean para la síntesis del AIA (Bunsangiam *et al.*, 2019). La vía del indol acetamida (ACM o IAM) ha sido descrita anteriormente en bacterias como *B japonicum* (Glickmann *et al.*, 1998; Spaepen *et al.*, 2011), en plantas (Mano *et al.*, 2010; Mano y Nemoto, 2012) y en hongos como *Trichoderma asperellum*, *T koningiopsis* (Hernández-Mendoza *et al.*, 2012; Uribe-Bueno *et al.*, 2019). La IAM fue el único compuesto detectado por HPLC en este estudio, por lo que se estima que esta es la única ruta de síntesis del AIA que tiene este hongo.

Por otra parte, la vía del IPyA, que ha sido reportada en plantas (Tao *et al.*, 2008) y bacterias como *A brasilense* (Spaepen, *et al.*, 2007; Castro-Guerrero *et al.*, 2012; Jijón-Moreno *et al.*, 2015) y *Enterobacter* sp (Zhang *et al.*, 2021), y no fue detectada por HPLC en estos estudios,



aunque anteriormente este método fue empleado en su detección (Zhang *et al.*, 2021). Este compuesto no se ha detectado en *T asperellum* ni en *T koningiopsis* (Uribe-Bueno *et al.*, 2019), pero si en plantas (Srivastava, 1964). En el caso de las rutas TRP-I, ninguno de los compuestos clave (Indol o ácido antranílico) fueron detectados en estos estudios, aunque si están presentes en otros hongos, como *T asperellum* y *T koningiopsis* (Uribe-Bueno *et al.*, 2019).

Finalmente, compuestos clave en la ruta Triptofano Independiente (kinurenina, ácido antranílico o el indol) no fueron detectados en este estudio y han sido reportados en la ruta alterna en la síntesis del AIA en bacterias, hongos y plantas (Hernández-Mendoza *et al.*, 2008; Mano y Nemoto, 2012; Uribe-Bueno *et al.*, 2019).

## Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten confirmar que el fitopatógeno *Fusarium oxysporum* produce el ácido indol acético, y su síntesis en medio de cultivo está influenciada por la adición del Triptofano. Así mismo, fue detectado por HPLC en el medio de cultivo, donde se evidenció también la presencia de la Indol acetamida, que es un compuesto distintivo de la ruta Triptofano Dependiente hacia la síntesis de esta hormona de crecimiento vegetal. Por otra parte, el ácido antranílico, la kinurenina y el indol no fueron detectados, por lo que se estima que esta vía Triptofano-Independiente no es empleada para síntesis del ácido indol acético.

## Agradecimientos

Lizeth Alanís, alumna de la UAMRA-UAT, haciendo tesis de licenciatura en el Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Los fondos para la investigación fueron aportados por Proyectos SIP-IPN. J. Luis Hernández-Mendoza es EDI-IPN y SNI.

Conflicto de Interés: Ninguno.

## Referencias

Aguilar-Piedras JJ, Xiqui-Vásquez ML, García-García S, Bacca E. (2008). Producción del ácido indol-3-acético en *Azospirillum*. *Microbiología*. 2008;50(1-2):29-37.

Bin Junaidi A R & Hasnul Bolhassan, M. (2017). Screening of indol acetic acid (IAA) production by endophytic *Fusarium oxysporum* isolated from *Phyllanthus niruri*. Borneo Journal of Resource Science and Technology. 7(1): 56-59.

Bunsangiam S, Sakpuntoon V, Srisuk N, Ohashi T, Fujiyama K, Limtong S. (2019). Biosynthetic Pathway of Indole-3-Acetic Acid in Basidiomycetous Yeast *Rhodospordiobolus fluvialis*. Mycobiology. 15;47(3):292-300. doi: 10.1080/12298093.2019.1638672. PMID: 31565465; PMCID: PMC6758620.

Carreño-López, R; Campos-Reales, N; Elmerich, C & Baca, BE. (2000). Physiological evidence for differently regulated tryptophan-dependent pathway for indole -3-acetic acid synthesis in *Azospirillum brasilense*. Molecular and General Genetics MGG 264: 521-530.

Chung KR; Shilts T; Erturk U; Timmer, LW & Ueng PP. (2003). Indole derivatives produced by the fungus *Colletotrichum acutatum* causing lime anthracnose and postbloom fruit drop of citrus. FEMS Microbiol Lett. 226: 23-30.

Di Pietro, A; Marta P Madrid; Zaira Caracuel; Jesus Delgado-Jarana & Isabel G Roncero. *Fusarium oxysporum*: exploring the molecular arsenal of vascular wilt fungus. Molecular plant Pathology. 4(5): 315-325.

Forero-Reyes, CM; Alvarado-Fernandez, AM; Ceballos-Rojas, AM; Gonzalez-Carmona, LC; Linares-Linares, MY; Castañeda-Salazar, R; Pulido-Villamarín, A; Góngora-Medina, ME; Cortés-Vecino, JA & Rodríguez-Bocanegra, MX. (2018). Evaluación de la capacidad patogénica de *Fusarium* spp en modelos vegetal y murino. Revista Argentina de Microbiología. 50(1): 90-96.

Ghosh, AC & Basu P. (2002). Growth behaviour and bioproduction of indole acetic by a *Rhizobium* sp isolated from root nodules of a leguminous tree *Dalbergia lanceolaria*. Indian J Exp Biol. 40(7): 796-801.

Glickmann, E; Gardan, L; Jacquet, S; Hussain, S; Elasri, M; Petit, A; & Dessaux, Y. (1998). Auxin production is a common feature of most pathovars of *Pseudomonas syringae*. Molecular Plant Microbe Interactions. 11(2): 156-162. DOI 10.1094MPMI.1998.11.2.156.

González-Lamothe, R., El Oirdi, M., Brisson, N., & Bouarab, K. (2012). The Conjugated Auxin Indole-3-Acetic Acid-Aspartic Acid Promotes Plant Disease Development. The Plant Cell, 24(2), 762-777.

Gurjar, G; Barve, M Gin, A / Gupta, V. (2009). Identification of Indian pathogenic races of *Fusarium oxysporum* f. sp ciceris with gene specific, ITS and random markers. Mycologia 10(4): 484-495.

Guruprasad B Kulkarni; Shishailnath S Sajjan & TB Karegoudar. (2011). Pathogenicity of indole acetic acid producing fungus *Fusarium delphinoides* strain GPK towards chickpea and pigeon pea. *European Journal of Plant Pathology*. 131(3): 355-369.

Harikrishnan, H., Shanmugaiah, V., & Balasubramanian, N. (2014). Optimization for production of Indole acetic acid (IAA) by plant growth promoting *Streptomyces* sp VSMGT1014 isolated from rice rhizosphere. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 3(8), 158-71.

Hartman, A., Campo, RJ, Souza, EM & Pedrosa, FO. (1983). Isolation and characterization of *Azospirillum* mutants excreting high amounts of indole acetic acid. *Canadian Journal of Microbiology*. 29(8): 916-923.

Hasan, HA. (2002). Gibberellin and auxin-indole production by plant root-fungi and their biosynthesis under salinity-calcium interaction. *Acta Microbiol. Immunol Hung*. 49(1): 105-118.

Hernández-Mendoza J. L., Quiroz-Velázquez J. D., Díaz-Franco A., García-Olivares J. G., Bustamante-Dávila A. J. and Gill-Langarica H. R. 2012. Detection of metabolites in Flor de Mayo common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their response to inoculation with *Trichoderma harzianum*. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 11(55): 11767-11771.

Hernández-Mendoza, J. L., J. D. Quiroz-Velásquez, V. R. Moreno-Medina y N. Mayek-Pérez. 2008. Biosíntesis de ácido antranílico y ácido indolacético a partir de triptófano en una cepa de *Azospirillum brasilense* nativa de Tamaulipas, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* 12(1): 57-66.

Howden, A. J., C. Jill Harrison y G. M. Preston. 2009. A conserved mechanism for nitrile metabolism in bacteria and plants. *The Plant Journal* 57(2): 243-253.

Idris, EE, Iglesias, DJ, Talon, M & Borris, R. (2007). Tryptophan dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) effects leve lof plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Molecular Plant Microbe Interactions*. 20(6): 619-623.

Lee S. Flores-Encarnacion M. Contreras-Zentella M. García-Flores L. Escamilla J. Kennedy C. (2004). Indole-3-acetic acid biosynthesis is deficient in *Glucanacetobacter diazotrophicus* strains with mutations in cytochrome c biogenesis. *Genes Journal of Bacteriology*. 186(16): 5384-5391. Doi:10.1128/JB.186.5384-5391.2004.

Leyva-Mir, SG; Vega-Portillo, HE; Villaseñor-Mir, HE; Tlapal-Bolaños, B; Vargas-Hernandez, M; Camacho-Tapia, M & Tovar-Pedraza, J. (2017). Caracterización de especies de *Fusarium* causantes de pudrición de raíz del trigo en el Bajío, Mexico. *Chilean J Agric Anim Sci., ex Agro-Ciencia*. 33(2): 142-151.

Li M, Guo R, Yu F, Chen X, Zhao H, Li H, Wu J. (2018). Indole-3-Acetic Acid Biosynthesis Pathways in the Plant-Beneficial Bacterium *Arthrobacter pascens* ZZ21. *International Journal of Molecular Sciences*. 19(2):443. <https://doi.org/10.3390/ijms19020443>

Luo, Kun & Rocheleau, Helene Peng, Fei; Zheng, You-Liang; Zhao, Hui-Yan & Ouellet Theresé. (2006). Indole-3-acetic acid in *Fusarium graminearum*: Identification of biosynthetic Pathways and characterization of physiological effects. *Fungal Biology*. 120.10.1016/j.funbio.2016.06.002.

Mano Yoshihiro y Keiichirou Nemoto. (2012). The pathway of auxin biosynthesis in plants, *Journal of Experimental Botany*, Volume 63(8)2853–2872, <https://doi.org/10.1093/jxb/ers091>

Mano, Y., K. Nemoto, M. Suzuki, H. Seki, I. Fujii y T. Muranaka. (2010). The AMII gene family: indole-3-acetamide hydrolase functions in auxin biosynthesis in plants. *Journal of experimental botany* 61(1): 25-32.

Maymon, M; Noa Sela, Uri, Shpatz, Navot Galpaz / Stanley Freeman. (2020). The origin and current situation of *Fusarium oxysporum* f. sp cubense Tropical race 4 in Israel and the Middle East. *Scientific Reports* 10: 1590. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58378-9>.

Mohite B (2013) Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *J Soil Sci Plant Nut* 13:638–649. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000051>.

Naturatat, P; Srisuk, N; Arunrattiyakorn, P & Limtong S. (2016). Indole-3-acetic acid biosynthesis Pathways in the basidiomycetous yeast *Rhodospiridium paludigenum*. *Arch. Microbiol*. 198(5): 429-437. DOI: 10.1007/s00203-016-1202.

Princen, E; Costacurta, A; Michiels, K; Vanderleyden, J & Van Onckelen, H. (1993). *Azospirillum brasilense* indole -3-acetic acid biosynthesis. Evidence for a non-tryptophan dependent pathway. *Mol. Plant Microbe Interact*. 6, 609.

Reineke, G; Heinze, B; Schirawski J; Kahmann, R et al., (2008). Indole-3-acetic acid (AAI) biosynthesis in the smut fungus *Ustilago maydis* and its relevance for increased IAA levels in infected tissue and host tumor formation. *Mol. Plant Pathol*. 9: 339-355.

Retana, K; Ramírez-Coché, JA; Blanco-Meneses, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* F SP Apii asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía costarricense*. 42(1). DOI: 10.15517/rac.v42i1.32199.

Sant' Anna, F.H., L.G. Almeida, R. Cecagno, L. A. Reulon, F. M. Siqueira, M. R. Machado y I. S. Schrank. (2011). Genomic insights into the diversity of the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *BMC Genomics*. 12(1):409.

Spaepen S & Vanderleyden, J. (2011). Auxin and plant-microbe Interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 3(4): DOI 10.1101./cshperspect a0011438.

Spaepen, S; Vanderleyden, J & Remasn, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism plant signaling. FEMS Microbial reviews. 31(4): 425-448.

Srivastava, Sahai. 1964. Investigations on the occurrence and biosynthesis of indole pyruvic acid in plant tissues and bacteria. Plant Physiology. 39(5): 781-785.

Sun, PF; Fang, WT; Shin, LY; Wei, JY, Fu, SF, et al. (2014). Indole-3-acetic acid producing yeast in the phyllosphere of the carnivorous plant *Drosera indica* L. Plos One. 9(12): e114196. DOI: 10.1371/journal.pone.0114196.

Tao, Y., J. Ferrer, K. Ljung, F. Pojer, F. Hong, J. Long y Y. Cheng. (2008). Rapid synthesis of auxin via a new tryptophan-dependent pathway is required for shade avoidance in plants. Cell 133(1): 164-176.

Teale, WD, Paponov, IA & Palme, K. (2006). Auxin in action Signaling, transport and the control of plant growth and development. Nat. Rev Mol. Cell Biol. 7: 847-859.

Uribe-Bueno Mariana, Villa-Castro, L., N. Mayek-Pérez, J. García-Olivares y J. Hernández-Mendoza. (2014). Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. Avances en Investigación Agropecuaria 18(1): 33-38

Wang B, J. Chu, T. Yu, Q. Xu, X. Sun, J. Yuan, G. Xiong, G. Wang, Y. Wang, J. Li. (2015). Tryptophan-Independent auxin biosynthesis contributes to early embryogenesis in *Arabidopsis*. Proc. Natl. Acad. Sci. 112(15):4821-4826. 10.1073/pnas.1503998112

Woodward, AW & Bartel, B. (2005). Auxin regulation, action, and interaction. Ann. Bot. 95:707-735.

Zakharova, Elena A, Alexander A. Shcherbakov, Vitaly V. Brudnik, Nataliya G. Skripko, Nail Sh. Bulkhin, Vladimir V. Ignatov. (1999). Biosynthesis of indole-3-acetic acid in *Azospirillum brasilense*. European Journal of Biochemistry 259(3): 572-576. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.1999.00033.x>.

Zhang Bi-Xian, Pei-Shan Li, Ying-Ying Wang, Jia-Jun Wang, Xiu-Lin Liu, Xue-Yang Wang and Xiao-Mei Hu. (2021). Characterization and synthesis of indole-3-acetic acid in plant growth promoting *Enterobacter* sp. RSC Adv 31601. Doi: 10.1039/d1ra05659j.

Zheng Si-Jun, García-Bastidas Fernando A., Li Xundong, Zeng Li, Bai Tingting, Xu Shengtao, Yin Kesuo, Li Hongxiang, Fu Gang, Yu Yanchun, Yang Liu, Nguyen Huy Chung, Douangboupha Bounneuang, Khaing Aye Aye, Drenth Andre, Seidl Michael F., Meijer Harold J. G., Kema Gert H. J. (2013). New geographical insights of the latest expansion of *Fusarium oxysporum* f. sp cubense tropical race 4 into the greater Mekong subregion. Front. Plant Sci. 9: 457. DOI=10.3389/fpls.2018.00457.