Original Paper

SCIENTIA FUNGORUM

DOI: 10.33885/sf.2020.50.1262
(2020) Vol. 50:e1262

# Identificación de dos cepas de *Fusarium* productoras de pigmentos aisladas de *Bemisia* sp. (Hemiptera)

## Identification of two pigments producers *Fusarium* strains isolated from *Bemisia* sp. (Hemiptera)

Olivia Márquez-Fernández[1], Rosario Medel-Ortiz[2], E. Naara Palestina[2], M. Emilia Belingheri[2]

[1] Instituto de Investigaciones Forestales. Parque Ecológico El Haya. Col. Benito Juárez, 91070, Xalapa, Veracruz, México.
[2] Centro de Investigación en Micología Aplicada. Universidad Veracruzana. Médicos No. 5. Col. Unidad del Bosque, 91010, Xalapa, Veracruz, México.

**RESUMEN**

Antecedentes: El género *Fusarium* produce metabolitos secundarios como las micotoxinas y pigmentos. Dichos pigmentos presentan actividad biológica antibiótica, antiparasitaria, e insecticida y han sido utilizados en la identificación taxonómica.

Objetivos: Aislar e identificar los hongos obtenidos del Hemíptero *Bemisia* aff. *tabaci*, parasitando una especie de cucurbitácea e identificar los pigmentos producidos por estas especies.

Métodos: Se recolectaron insectos muertos de *Bemisia* aff. *tabaci* sobre frutos y hojas de una cucurbitácea arvense. El aislamiento fúngico se realizó mediante la colocación directa de los insectos, previamente desinfectados, en cajas Petri con medio PDA. Fueron incubados a 25 °C con un ciclo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. La extracción de los pigmentos de las cepas se obtuvo con acetato de etilo. La observación de los pigmentos se realizó mediante cromatografía en capa delgada (CCD), los extractos completos fueron analizados mediante resonancia magnética nuclear de protones (1HNMR).

Resultados y conclusiones: Se aislaron e identificaron *Fusarium avenaceum* y *F. oxysporum*. Estas cepas produjeron tres y dos compuestos, respectivamente, que mediante comparación de las señales identificadas en el espectro de $^{1}$HNMR, con las reportadas en la literatura, podemos suponer que corresponden a pigmentos de tipo xantona y antraquinona de color rojo-vino.

Palabras clave: anamorfos, Nectriaceae, metabolitos secundarios, CCD (cromatografía en capa delgada), pigmentos, $^{1}$HNMR (resonancia magnética nuclear de protón)

**ABSTRACT**

Background: The genus *Fusarium* produces secondary metabolites such as mycotoxins and pigments. These pigments have antibiotic, antiparasitic, and insecticidal biological activity and have been used in taxonomic identification.

Objectives: Isolate and identify the fungi obtained from Hemiptera *Bemisia* aff. *tabaci*, parasitizing a species of cucurbitaceous; and identify the pigments produced by these species.

Methods: Dead insects of *Bemisia* aff. *tabaci* on fruits and leaves of endemic cucurbitaceous were collected. Fungal isolation was performed by direct placement of previously disinfected insects in Petri dishes with PDA medium. They were incubated at 25 °C with a cycle of 12 hours of light and 12 hours of darkness. The pigment extraction from the strains was obtained with ethyl acetate. The pigment was observed by thin layer chromatography (TLC), the complete extracts were analyzed by proton nuclear magnetic resonance ($^{1}$HNMR).

Results and conclusions: *Fusarium avenaceum* and *F. oxysporum* were isolated and identified. These strains produced three and two colorful compounds, respectively, which by comparison of the signals identified in the $^{1}$HNMR spectrum, with those reported in the literature, that correspond to xanthone and anthraquinone red-wine pigments.

Keywords: anamorphs, Nectriaceae, secondary metabolites, TLC (thin layer chromatography), pigments, $^{1}$HNMR (proton nuclear magnetic resonance)

**ARTICLE HISTORY**
Received 13 August 2019 / Accepted 09 February 2020
Published on line: 31 August 2020

**CORRESPONDING AUTHOR**
Olivia Márquez Fernández, e-mail: mafo68@yahoo.com.mx
ORCID: 0000-0001-6205-3253

## INTRODUCCIÓN

El género *Fusarium* Link 1809, pertenece a la clase Ascomycota y corresponde a la fase asexual de la familia Nectriaceae. Son hongos cosmopolitas (Nelson *et al.*, 1994) saprobios, endófitos (Leslie y Summerell, 2006) o patógenos oportunistas provocando la mortalidad de insectos y plantas (Mosqueda-Anaya *et al.*, 2018). Las especies del género producen cantidades importantes de metabolitos secundarios como las micotoxinas; entre las más estudiadas están los tricotecenos, las zearealenonas y las fumonisinas (Jonsson, 2017), las cuales son estrogénicas, inmunomoduladoras, citotoxicas y mutagénicas (Desjardins, 2006). También producen diversos pigmentos como las naftoquinonas, antraquinonas, azonaftoquinonas y carotenoides (Frandsen *et al.*, 2006; Goertz *et al.*, 2010). Algunos pigmentos han sido citados con actividad biológica antiparasitaria, anticancerígena, antifúngica y antibacteriana (López *et al.*, 2011; Kwon *et al.*, 2007).

Los pigmentos y micotoxinas, en su mayoría, son derivados de la ruta biosintética de los policétidos. En este género de hongos, las familias de genes relacionadas a su síntesis se encuentran distribuidos en casi todas las especies de *Fusarium* (Frandsen *et al.*, 2006; Lebeau *et al.*, 2017; Malz, 2005). La producción de pigmentos en medios de cultivo específicos es un carácter usado en la taxonomía del grupo junto con caracteres macro y microscópicos (Nelson *et al.*, 1994), particularmente, la expresión de pigmentos no solo depende del genotipo de las especies, sino también de la composición del medio o hábitat, el pH, la temperatura y la radiación (Garcia-Cela *et al.*, 2018).

El presente trabajo tiene por objetivo determinar las especies de *Fusarium* que puedan ser aisladas de un Hemíptero (*Bemisia* aff. *tabaci*) asociado a una cucurbitácea ruderal (*Cucurbita okeechobeensis* subsp. *martinezii* (L.H. Bailey) Walters & Deck.-Walt.) y el tipo de pigmento que estas producen.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recolecta de muestras

Se recolectaron insectos muertos encontrados en hojas y frutos de una cucurbitácea ruderal conocida localmente como "morchete" o "calabacín loco" (*Cucurbita okeechobeensis* subsp. *martinezii*), en dos sitios secundarios de bosque mesófilo de montaña perturbado en los municipios de Emiliano Zapata (cerca del beneficio Puerto Rico) y Coatepec (carretera Xalapa-Coatepec). Las colectas vegetales fueron herborizadas y depositadas en el herbario XAL del Instituto de Ecología A.C. Los insectos fueron colocados en viales de vidrio con tapa para ser trasladados al laboratorio, la identificación se realizó con las claves de Caballero (1994, 1996), EPPO (2004) y Evans (2007). La literatura ha reportado que *Bemisia tabaci* comprende un complejo de especies, los ejemplares se identificaron como *Bemsia* aff. *tabaci* (Brown *et al.*, 1995; Perring, 2001; ISSG, 2006).

### Aislamiento de hongos

Los insectos se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 0.5 % por 10 minutos, posteriormente fueron lavados con una disolución de etanol-agua (7:3) por un minuto y finalmente con agua destilada estéril.

El aislamiento fúngico se realizó mediante la colocación directa de los insectos en cajas Petri de 5 cm de diámetro, con medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA, Bioxon). Se incubaron a temperatura ambiente (25 °C), durante 14 días, con un ciclo de 12h luz/12h oscuridad. Posteriormente se realizaron aislamientos, de los micelios visualmente diferentes en cajas Petri de 5 cm de diámetro con medio PDA, y fueron incubados durante 5-7 días, bajo las mismas condiciones de luz, temperatura y humedad. Mediante aislamientos consecutivos, se obtuvieron únicamente dos cultivos fúngicos axénicos con características morfológicas y velocidad de crecimiento distintas.

### Identificación taxonómica

La identificación de las especies fúngicas se basó en la literatura especializada (Booth, 1971; Nelson *et al.*, 1983, 1994; Seifert, 1996; Leslie y Summerell, 2006). Se observó la morfología de las estructuras características del género como la forma y pigmentación del micelio, conidióforos, células conidiógenas, conidios y otras estructuras especializadas, con ayuda de un microscopio estereoscópico Stemi DV4 (Carl Zeiss) y un microscopio compuesto iLED (Carl Zeiss). La velocidad de crecimiento en medio de cultivo PDA, se determinó en 7 a 21 días de incubación a 25 °C, 12h luz/12h oscuridad.

### Extracción de los pigmentos

La extracción de los pigmentos se realizó mediante maceración del micelio con acetato de etilo (grado reacti-

vo, Baker), durante 7 días, a partir de cultivos estáticos de 30 días de crecimiento. El disolvente se eliminó a presión reducida con un rotavapor Büchi a 45 °C. Para la visualización de los pigmentos coloridos, por cromatograma en capa delgada (CCD) se utilizaron cromatofolios de gel de sílice G ($F_{254}$), en aluminio (Merck) y mezcla hexano-acetato de etilo (grado reactivo) 8:2, como eluyente. Los reveladores utilizados fueron luz ultravioleta onda corta, vapores de yodo sublimado ($I_2$) y óleum ($H_2SO_4$ /ácido acético 80%, 1:1). Se obtuvieron espectros de resonancia magnética de protón ($^1$HNMR) de los extractos crudos en un espectrómetro de NMR Bruker Avance III HD a 500 MHz (BIOMIMIC-INECOL Xalapa, Ver), utilizando $CDCl_3$ como disolvente.

## RESULTADOS

### Taxonomía

***Fusarium* Sección *Arthrosporiella***

***Fusarium avenaceum*** (Fr.) Sacc., Syll. fung. (Abellini) 4: 713 (1886)

Figura 1 A-D

Morfología en PDA: micelio aéreo presente, de aspecto algodonoso, de color blanquecino con algunas zonas de color amarillento, masas de esporas (esporodoquios) de color café anaranjado que se observan como gútulas. Reverso de la caja de color café anaranjado, beige amarillento o beige anaranjado, en las orillas pigmentos concéntricos de color naranja. Con la edad, el pigmento se torna de color café oscuro. Conidióforos de (17.4-) 22.7- 33.8 µm de longitud, creciendo en esporodoquios, monofiálides no ramificadas alargadas. Macroconidios de (12-) 13-30.5 x (1.79) 2.5-3 µm, curvados dorsiventralmente, abundantes, con 0-5 septos, con pared delgada. Microconidios cilíndricos, hialinos, 5.85-9.7 × 1.9-2.3 µm, escasos. Clamidosporas ausentes. Velocidad de crecimiento en PDA 0.22 cm/24 h.

Hábitat: sobre cadáveres de *Bemisia* aff. *tabaci* en frutos y hojas de *Cucurbita okeechobeensis* sub. *martinezii,* bosque mesófilo de montaña secundario.

Material examinado: Veracruz. Municipio de Coatepec, carretera antigua Xalapa-Coatepec. Cerca del Retén (cepas CO2, CO2-1); municipio de Emiliano Zapata, cerca del Beneficio Puerto Rico (cepas CO2-2, CO2-3).

Notas: Las características morfológicas concuerdan con *Fusarium avenaceum,* observándose al reverso de la caja pigmentos de color café anaranjado, célula basal de los macroconidios alargada, a manera de un apéndice delgado o ganchudo, ausencia de clamidosporas y microconidios muy escasos (Booth, 1971; Nelson *et al.*, 1983, 1994; Seifert, 1996; Leslie y Summerell, 2006).

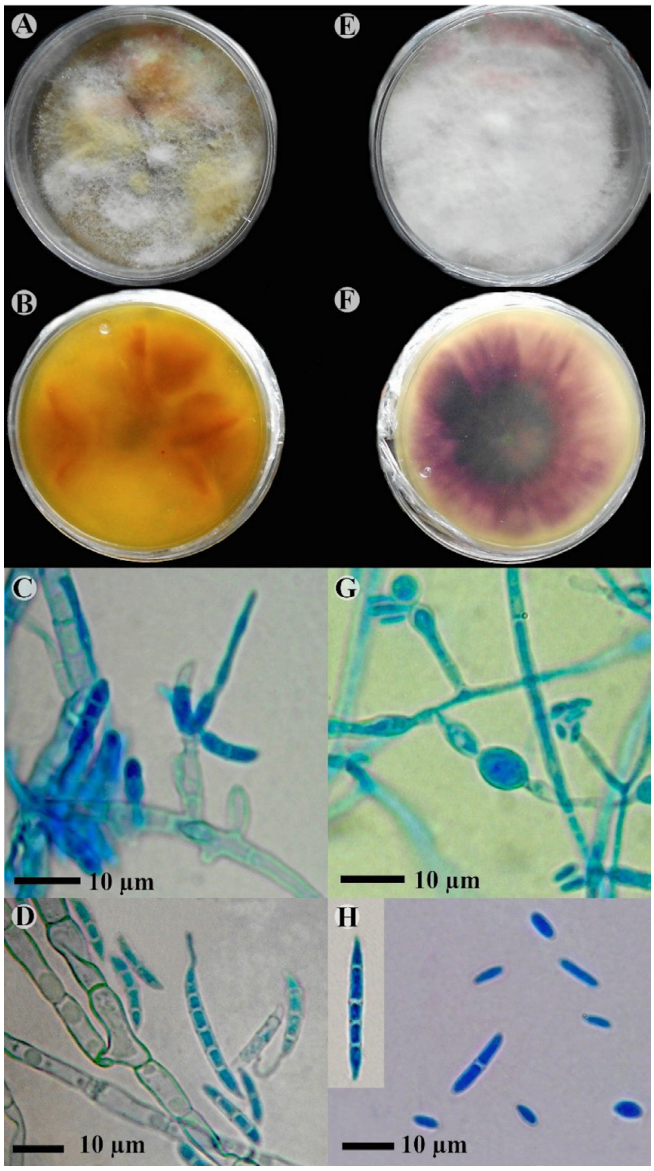



Figura 1. Especies de *Fusarium* aisladas de ejemplares muertos de *Bemsia* aff. *tabaci*. A-D. *Fusarium avenaceum*. A: micelio. B: reverso de la caja de Petri mostrando pigmentos cafés a anaranjados. C: conidióforos. D: macroconidios mostrando el apéndice largo característico de esta especie. E-H. *Fusarium oxysporum*. E: micelio. F: reverso de la caja de Petri mostrando los pigmentos violetas a morados. G: conidióforos y clamidosporas. H: macro y microconidios.

***Fusarium* Sección *Liseola***

***Fusarium oxysporum*** Schltdl., Fl. berol. (Berlin) **2**: 139 (1824)

Figura 1 E-H

Morfología en PDA: micelio aéreo presente, de aspecto algodonoso y de color blanquecino. Reverso de la caja de color morado oscuro al centro, de color morado claro hacia las orillas de la caja o hialino. Con la edad, el pigmento originalmente de color violeta se torna violeta oscuro a casi negro.

Conidióforos de (5.9-) 8.4-11.9 x (2-) 2.2-4.5 µm de longitud, creciendo a manera de esporodoquios. Macroconidios de 11-30 x 2.5-3 µm, escasos, con 1-4, septos, con pared gruesa, célula basal en forma de pie o gancho, larga. Microconidios de 10-11 x 2-3 µm, abundantes, sin septos, ovoides a ligeramente reniformes, con pared gruesa. Clamidosporas. Presentes, elípticas, de pared gruesa, catenuladas, hialinas, de 8-9 x 6-7 µm. Velocidad de crecimiento en PDA 0.3 cm/24 hrs.

Hábitat: sobre cadáveres de *Bemisia* aff. *tabaci*. Sobre frutos y hojas de *Cucurbita okeechobeensis* sub. *martinezii*. Bosque mesófilo de montaña secundario.

Material examinado: Veracruz. Municipio de Coatepec, carretera antigua Xalapa-Coatepec. Cerca del Retén (cepas CO1, CO1-1); municipio de Emiliano Zapata, cerca del Beneficio Puerto Rico (cepas CO1-2, CO1-3).

Notas: *Fusarium oxysporum* es una especie de amplia distribución que se encuentra asociada a una diversidad de hospederos, en muchas ocasiones es fitopatógeno, Dentro de las características principales para su identificación se considera la capacidad de producir compuestos de color violeta o morado en el reverso de la colonia, y presentar macroconidios con un apéndice pequeño a manera de pie en la célula basal del macroconidio, característica distintiva de esta especie.

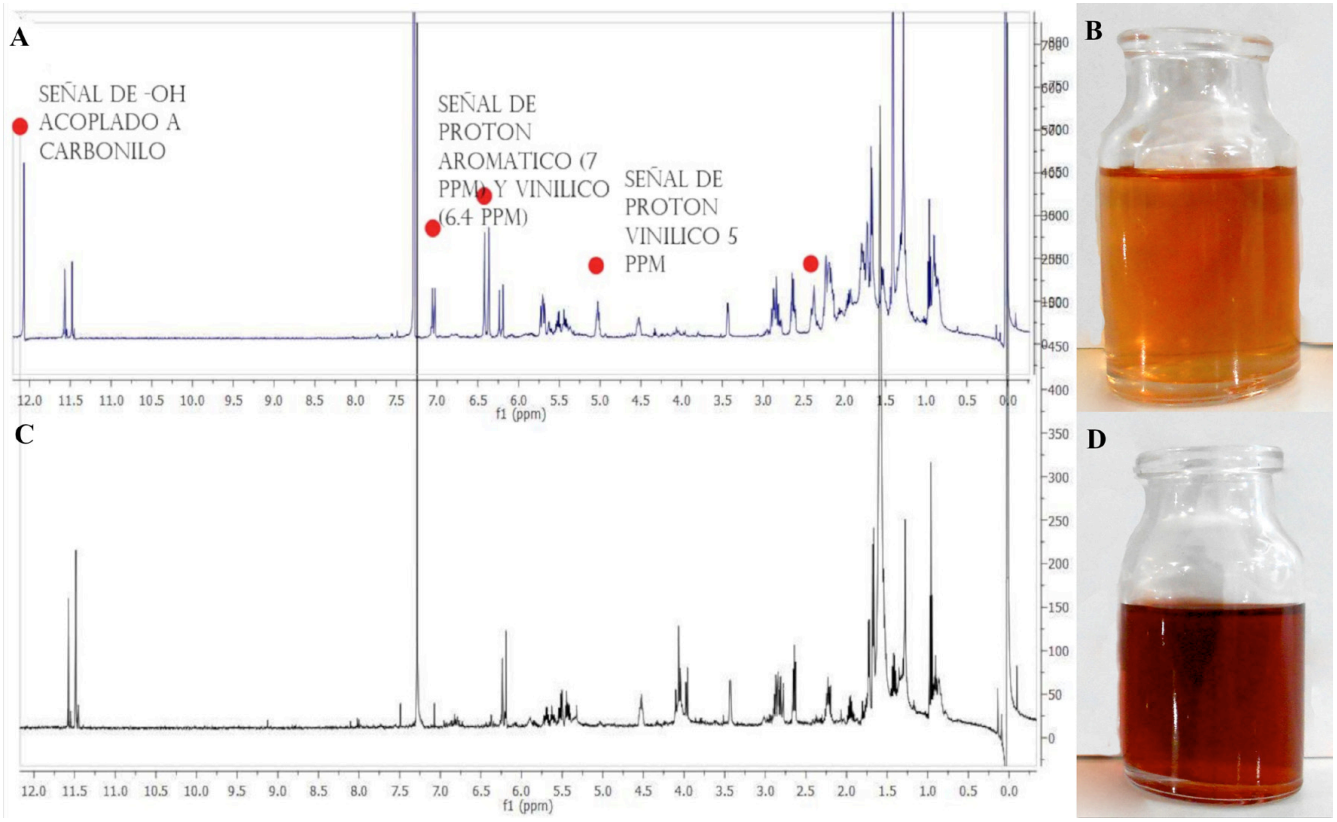



Figura 2. Análisis de los pigmentos obtenidos a partir de cepas de *Fusarium avenaceum* y *F. oxysporum*. A: espectro de Resonancia Magnética Nuclear de Protón (1HNMR) a 500 MHz de *F. avenaceum*. Se observan señales de protones aromáticos en 7 ppm y vinílicos en 6.5, además de señales de protones de hidroxilos cercanos a grupo carbonilo en 12 ppm. B: extracción con acetato de etilo de *F. avenaceum*. C: espectro de Resonancia Magnética Nuclear de Protón (1HNMR) a 500 MHz de *F. oxysporum*. D: extracción con acetato de etilo de *F. oxysporum*.

### Observación de los pigmentos

Cada una de las cepas produjo coloraciones distintas observadas en medio PDA, sin embargo, en la cromatografía en capa delgada de las extracciones con acetato de etilo se observó que comparten al menos dos componentes iguales, *Fusarium avenaceum* produce además un compuesto con mayor polaridad al de *F. oxysporum* en las mismas condiciones de cultivo (Figura 2). En el espectro de $^{1}$HNMR, de los extractos completos se advierten algunas diferencias en la zona de los grupos vinilo, ambas cepas presentan señales protones aromáticos y protones provenientes de grupos metoxilo y señales adyacentes a grupos carbonilo y amino. Con base en su coloración al ser revelados en CCD y patrones de desplazamientos en $^{1}$HNMR y lo reportado en la literatura, los pigmentos producidos por las cepas en este estudio podrían corresponder a pigmentos de tipo xanthona y antraquinona (Tatum *et al.*, 1985; Kundu *et al.*, 2016; Lebeau *et al.*, 2017).

## DISCUSIÓN

*Fusarium oxysporum* es una especie cosmopolita y común en el suelo, contiene formas patogénicas, conocidas como *formae speciales* que pueden ocasionar enfermedades en más de 100 especies de plantas (Gordon y Martyn, 1997; Bosland, 1988). También existen cepas que no dañan al hospedero (no patógenicas) y que pueden actuar como posibles agentes de control biológico (Benhamou y Garand, 2001; Shishido *et al.*, 2005). Algunos compuestos de tipo secundario de especies de *Fusarium,* contribuyen a vencer los mecanismos de defensa de las plantas hospederas y pueden matar a los insectos a través de la actividad de toxinas producidas por las hifas penetrantes (Gupta *et al.*, 1991). Algunos de los metabolitos secundarios, reportados en cultivos *in vitro* de *F. oxysporum formae speciales*, son ácido fusárico, beauvaericina y pigmentos de color naranja a rojo como bikaverina y otros (Bell *et al.,* 2003). La bikaverina, puede actúar como biocida contra diferentes organismos, como *Leishmania brasiliensis*, *Phytophtora infestans* y *Bursaphelenchus xylophilus* (nematodo del pino) (Balan *et al.*, 1970; Kwon *et al.*, 2007; Son *et al.*, 2008).

En relación a *Fusarium avenaceum*, este habita cereales y maíz en zonas de clima templado y presenta capacidad patógenica en cultivos como manzana y papa (Booth, 1971). Puede producir *in vitro* micotoxinas como moniliformina, enniatina y fusarina por mencionar algunas (Sørensen y Giese, 2013). Existen estudios en donde se demuestra que *F. avenaceum* es entomopatogénica en diversos insectos como gusano de la yema del abeto (*Choristoneura fumiferana),* diversas especies de mosquitas blancas (*Trialeurodes* sp., *Bemisia* sp.*)* y gorgojo del arroz (*Sitophilus oryzae*) (Strunz y Strongman, 1988; Rojas *et al.*, 2003; Sun, 2008; Batta, 2012); además de mediano nivel de patogenicidad en algunos insectos del orden Lepidoptera (Teetor-Barsch y Roberts, 1983).

La mayoría de las especies de *Fusarium* producen pigmentos que van del color amarillo, naranja, rojo, violeta, azul y negro, que se han utilizado como carácter en las claves taxonómicas que corresponden a una variedad de moléculas de tipo xantona y antraquinona (Ashley *et al.*, 1937; Goertz *et al.*, 2010). Algunos de estos policétidos fúngicos son tóxicos para animales y humanos, pueden ser fitotóxicos, contribuyendo a la capacidad de los hongos para invadir y ocasionar daño a las plantas, otros presentan propiedades farmacéuticas benéficas como antibióticos, antiparasitarios, e insecticidas (Keller *et al.*, 2005). Aunque no se pueden describir con exactitud las funciones de los metabolitos secundarios, generalmente se reconoce que los pigmentos protegen a los hongos de la exposición al estrés ambiental como la luz UV y la oxidación. (Duran *et al.*, 2002; Yu. *et al.*, 2004; Medentsev *et al.*, 2005).

## CONCLUSIONES

Los extractos obtenidos de cultivos estacionarios de ambas especies, son una mezcla de metabolitos secundarios de tipo policetídico, los cuales se evidenciaron mediante señales características en $^{1}$HNMR y en CCD, comparando con lo reportado en la bibliografía, que pueden corresponder a pigmentos de tipo xantona y atraquinona, y micotoxinas, compuestos que producen una coloración anaranjada-rojiza en el medio. Aunque no fue el objetivo del presente trabajo, la presencia de estos compuestos sugiere algún tipo de patogenicidad en insectos como la mosquita blanca (*Bemisia* sp.), no así en la planta huésped; asimismo estas dos especies de *Fusarium* pueden ser entomopatógenos débiles o pueden vivir como saprobios en insectos muertos.

Por lo que resultará interesante determinar la estructura molecular de los tres compuestos mayoritarios, observados en cromatografía en capa fina, pues las cepas identificadas que se obtuvieron a partir de cadáveres de *Bemisia* aff. *tabaci*, podrían presentar actividad biológica insecticida.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de investigación en Micología Aplicada (CIMA-UV) y al Instituto de Investigaciones Forestales (INIFOR-UV), por las facilidades brindadas para este trabajo. Al M. en C. Israel Bonilla (BIOMIMIC-INECOL) por los espectros de $^{1}$HNMR.

## LITERATURA CITADA

Ashley, J.N., B.C. Hobbs, H. Raistrick, 1937. Studies in the biochemistry of micro-organisms: The crystalline colouring matters of *Fusarium culmorum* (WG Smith) Sacc. and related forms. Biochemical Journal 31 (3): 385.

Balan, J., J. Fuska, I. Kuhr, V. Kuhrová, 1970. Bikaverin, an antibiotic from *Gibberella fujikuroi* effective against *Leishmania brasiliensis*. Folia Microbiologica 15: 479-483.

Batta, Y.A., 2012. The first report on entomopathogenic effect of *Fusarium avenaceum* (Fries) Saccardo (Hypocreales, Ascomycota) against rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.: Curculionidae, Coleoptera). Journal of Entomological and Acarological Research 44 (3): e11.

Bell, A.A., M.H. Wheeler, J. Liu, R.D. Stipanovic, L.S. Puckhaber, H. Orta, 2003. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service studies on polyketide toxins of *Fusarium oxysporum f sp. vasinfectum*: potential targets for disease control. Pest Management Science: Formerly Pesticide Science 59 (6-7): 736-747.

Benhamou, N., C. Garand, 2001. Cytological analysis of defense-related mechanisms induced in pea root tissues in response to colonization by the non-pathogenic *Fusarium oxysporum*, strain Fo47. Phytopathology 91: 730-740.

Bosland, P.W., 1988. *Fusarium oxysporum*, a pathogen of many plant species. Genetics of Plant Pathogenic Fungi 6: 281-288.

Booth, C., 1971. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Surrey.

Brown, J. K., D.E Frohlich, R.C. Rosell, 1995. The sweet potato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? Annual Review of Entomology 40(1): 511-534.

Caballero, R., 1994. Clave de campo para inmaduros de moscas blancas de Centroamérica (Homoptera: Aleyrodidae). Revista Ceiba 35: 47-51.

Caballero, R. 1996. Identificación de moscas blancas. In: Hilje, L. (ed.), Metodología para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. CATIE, San José de Costa Rica. Pp. 1-2.

Desjardins, A.E., 2006. *Fusarium* mycotoxins: chemistry, genetics, and biology. American Phytopathological Society, Minnesota.

Durán, N., M.F. Teixeira, R. De Conti, E. Esposito, 2002. Ecological-friendly pigments from fungi. Critical Reviews In Food Science and Nutrition 42(1): 53-66.

Evans, G.A., 2007. The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of the world and their host plants and natural enemies. http://www.sel.barc.usda.gov:591/1WF/ World-Whitefly-Catalog.pdf.

EPPO, 2004. European and Mediterranean Plant Protection Organization (OEPP/EPPO). EPPO Bulletin 34: 155-157. https://gd.eppo.int/taxon/BEMITA/documents

Frandsen, R.J., N.J. Nielsen, N. Maolanon, J.C. Sørensen, S. Olsson, J. Nielsen, H. Giese, 2006. The biosynthetic pathway for aurofusarin in *Fusarium graminearum* reveals a close link between the naphthoquinones and naphthopyrones. Molecular Microbiology 61(4): 1069-1080.

Garcia-Cela, E., E. Kiaitsi, A. Medina, M. Sulyok, R. Krska, N. Magan, 2018. Interacting environmental stress factors affects targeted metabolomic profiles in stored natural wheat and that inoculated with *Fusarium graminearum*. Toxins 10 (2): 86. doi:10.3390/toxins10020086

Goertz A.Z., M. Sebastian, U. Spiteller, H.W. Steiner, C. Dehne, C. Waalwijk, I. de Vries, E.C. Oerke, 2010. *Fusarium* species and mycotoxin profiles on commercial maize hybrids in Germany. European Journal of Plant Pathology 128 (1): 101-111.

Gordon, T.R., R.D. Martyn, 1997. The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. Annual Review of Phytopathology 35: 111-128.

Gupta, S., S.B. Krasnoff, N.L. Underwood, J.A.A. Renwick, D.W. Roberts, 1991. Isolation of beauvericin as an insect toxin from *Fusarium semitectum* and *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*. Mycopathologia 115 (3): 185-189.

ISSG, 2006. The IUCN/SSC Invasive species specialist group. https://web.archive.org/web/20060812053924/http://www.issg.org

Jonsson, A., 2017. The toxicity of *Fusarium* mycotoxins enniatin and moniliformin. Doctoral dissertation, Faculty of Biological and Environmental Sciences of the University of Helsinki, Finland.

Keller, N.P., G. Turner, J.W. Bennett, 2005. Fungal secondary metabolism: from biochemistry to genomics. Nature Reviews Microbiology 3 (12): 937-947.

Kundu, A., S. Saha, S. Walia, T.K. Dutta, 2016. Anti-nemic secondary metabolites produced by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. Journal of Asia-Pacific Entomology 19 (3): 631-636.

Kwon, H.R., S.W. Son, H.R. Han, G.J. Choi, K.S. Jang, Y.H. Choi, L. Sunog, N.D. Sung, J.C. Kim, 2007. Nematicidal activity of bikaverin and fusaric acid isolated from *Fusarium oxysporum* against pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. The Plant Pathology Journal 23 (4): 318-321.

Lebeau, J., M. Venkatachalam, M. Fouillaud, T. Petit, F. Vinale, L. Dufossé, Y. Caro, 2017. Production and new extraction method of polyketide red pigments produced by ascomycetous fungi from terrestrial and marine habitats. Journal Fungi (Basel) 3 (3): 34. doi.org/10.3390/jof3030034.

Leslie, J.F., B.A. Summerell, 2006. The *Fusarium* laboratory manual. John Wiley & Sons, Oxford.

López, I., E. Leyva, R.F. García de la Cruz, 2011. Las naftoquinonas: más que pigmentos naturales. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas 42: 6-17.

Malz, S., M.N. Grell, C. Thrane, F.J. Maier, P. Rosager, A. Felk, K. Albertsen, S. Salomon, L. Bohn, W. Shäfer, H. Giese, 2005. Identification of a gene cluster responsible for the biosynthesis of au-

rofusarin in the *Fusarium graminearum* species complex. Fungal Genetics and Biology 42 (5): 420-433.

Medentsev, A.G., A. Arinbasarova, V.K. Akimenko, 2005. Biosynthesis of naphthoquinone pigments by fungi of the genus *Fusarium*. Applied Biochemistry and Microbiology 41: 503-507.

Mosqueda-Anaya, J.A., F. Landeros-Jaime, S. Ramírez-Baltazar, M.A. Santiago-Basilio, S. Vergara-Pineda, J.A. Cervantes-Chávez, E.U. Esquivel-Naranjo, 2018. Hongos asociados a cadáveres de insectos plaga en el estado de Querétaro, México. Scientia Fungorum 47: 25-35.

Nelson, P., C. Dignani, E. Annaissie, 1994. Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. Clinical Microbiology Reviews 7 (4): 479-504.

Nelson, P.E., T.A. Toussoun, W.F.O. Marasas, 1983. *Fusarium* species: an illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press, University Park.

Perring, T.M., 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop protection 20 (9): 725-737.

Rojas, M., A. Perea, V. Pineda, 2003. *Fusarium* spp. on *Trialeurodes vaporariorum* from tobacco and kidney beans of García Rovira, Santander, Colombia. Revista Colombiana de Entomología 29 (2): 165-168.

Seifert, K., 1996. FusKey: *Fusarium* interactive key. Agriculture and Agrifood Canada, Ottawa.

Shishido, M., C. Miwa, T. Usami, Y. Amemiya, K.B. Johnson, 2005. Biological control efficiency of *Fusarium* wilt of tomato by nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo-B2 in different environments. Phytopathology 95: 1072-1080.

Son, S.W., H.Y. Kim, G.J. Choi, H.K. Lim, K.S. Jang, S.O. Lee, S. Lee, N.D. Sung, J.C. Kim, 2008. Bikaverin and fusaric acid from *Fusarium oxysporum* show antioomycete activity against *Phytophthora infestans*. Journal of Applied Microbiology 104 (3): 692-698.

Sørensen, J.L., H. Giese, 2013. Influence of carbohydrates on secondary metabolism in *Fusarium avenaceum*. Toxins 5 (9): 1655-1663.

Strunz, G.M., D.B. Strongman, 1988. Insecticidal metabolites from *Fusarium avenaceum*, a fungus associated with foliage of *Abies balsamea* infested by spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*. In: Hedin P.A., J.J. Menn, R.M. Hollingworth (eds.), Biotechnology for crop protection. American Chemical Society, Washington, D.C. Pp. 110-116.

Sun, Z., 2008. The pathogenicity of *Fusarium* spp. to wheat stem sawfly, *Cephus cinctus* Norton (Hymenoptera: Cephidae). Doctoral dissertation, Montana State University-Bozeman, College of Agriculture. Bozeman.

Tatum, J.H., R.A. Baker, R.E. Berry, 1985. Naphthoquinones produced by *Fusarium oxysporum* isolated from citrus. Phytochemistry 24 (3): 457-459.

Teetor-Barsch G.H., D.W. Roberts, 1983. Entomogenous *Fusarium* species. Entomopathologica 84: 3-16.

Yu, J., R.H. Proctor, D.W. Brown, K. Abe, K. Gomi, M. Machida, F. Hasegawa, W.C. Nierman,D. Bhatnagar, T.E. Cleveland, 2004. Genomics of economically significant *Aspergillus* and *Fusarium* species. Applied Mycology and Biotechnology 4: 249-283.