

Micoquímica en México: breve reseña histórica

Mycochemistry in Mexico: brief historical overview

Jorge Suárez-Medellín¹, César Espinoza², Guillermo Mendoza², Ángel Trigos²

¹ Centro de Investigaciones Cerebrales, Universidad Veracruzana, Av. Luis Castelazo Ayala s/n, Col. Industrial Ánimas, 91190, Xalapa, Veracruz, México.

² Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa, Universidad Veracruzana. Médicos 5, Unidad del Bosque, 91010, Xalapa, Veracruz, México.

RESUMEN

Antecedentes: En nuestro país, uno de los principales testigos del desarrollo de la química de hongos (a la que en lo sucesivo nos referiremos como micoquímica), ha sido el otrora llamado Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología, posteriormente Revista Mexicana de Micología y hoy Scientia Fungorum.

Objetivo: Ofrecer un panorama general del desarrollo de la micoquímica mexicana a través del recuento de algunos de sus principales trabajos hasta la fecha.

Métodos: Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de la literatura relacionada con la micoquímica producida en nuestro país, tomando en cuenta como fuente central de información los archivos de la revista Scientia Fungorum en sus distintas épocas (1968-2018), complementando lo anterior con estudios publicados por científicos mexicanos en las principales revistas indexadas en el área.

Resultados y conclusiones: Los trabajos de investigación consultados fueron agrupados de acuerdo a su disciplina e interés, para ello, se dividieron en cinco secciones: micotoxinas; estudios bromatológicos y afines; extractos crudos; aislamiento e identificación de metabolitos; y enzimas. Por lo anterior, la micoquímica en México se encuentra en su mejor momento, como lo atestigua la creciente cantidad y calidad de los trabajos publicados durante los últimos años.

Palabras clave: micoquímica, metabolitos fúngicos, productos naturales de hongos

ABSTRACT

Background: In our country, one of the main witnesses of the fungal chemistry development (hereafter referred to as mycochemistry), was the journal previously known as Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología, subsequently Revista Mexicana de Micología, and today Scientia Fungorum.

Objective: Offer a brief overview about the development of Mexican Mycochemistry through the review of some of their main works up to this days.

Methods: An extensive review of all the available literature about mycochemistry produced in México was performed, using the archives of Scientia Fungorum (1968-2018) as primary source, and complementing with the works published by mexican scientists in the main indexed journals of the field.

Results and conclusions: The research works consulted were grouped according to their main subject, and then presented in five sections: mycotoxins; bromatologic studies and alike; raw extracts; isolation and identification of metabolites; and enzymes. The constant improvement in quantity and quality of the research published during the last years, is the best proof that the mexican mycochemistry is on its highest moment ever.

Keywords: mycochemistry, fungal metabolites, natural products derived from mushrooms

ARTICLE HISTORY

Received 18 July 2018 / Accepted 05 October 2018

On line 02 November 2018

CORRESPONDING AUTHOR

✉ Ángel Trigos, atrigos@uv.mx

ORCID: 0000-0001-6112-2288

INTRODUCCIÓN

La química de productos naturales y la micología tienen mucho más en común de lo que podría esperarse; ambas disciplinas han tenido un desarrollo impresionante a partir de la segunda mitad del siglo XX, y a pesar de ello, ambas siguen siendo erróneamente consideradas por los

legos como subsidiarias de la botánica. En el caso de la química de productos naturales, su histórica asociación con el reino Plantae es tal, que la mayor parte de la gente sigue refiriéndose a ella mediante la familiar sinécdoque Fitoquímica. Sin embargo, para los estudiosos de los compuestos químicos de origen biológico y sus múltiples aplicaciones, hay vida más allá de los vegetales.

El aislamiento, caracterización química y pruebas biológicas de los metabolitos producidos por hongos, forman parte del repertorio tradicional de temas estudiados por la química de productos naturales, bastando recordar tan sólo unos cuantos ejemplos históricos. En 1896, Gasio publicó detalles de un compuesto químico que resultó ser ácido micofenólico; en 1912, Alsborg estudió extractos de maíz infestado de moho; en 1929, Fleming descubrió la penicilina; durante los años treinta del siglo pasado, el grupo de Rastrick aisló y caracterizó cerca de 200 metabolitos producidos por miembros del reino Fungi (Trigos y Sambrano, 1992; Trigos, 1999).

En nuestro país, uno de los principales testigos del desarrollo de esta rama de la química de productos naturales (a la que por analogía nos referiremos a partir de ahora como micoquímica), ha sido el otrora llamado Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología, posteriormente Revista Mexicana de Micología y hoy Scientia Fungorum. En ese sentido, resulta particularmente significativo que la primer conferencia impartida por el Dr. Teófilo Herrera en la entonces recién fundada Sociedad Mexicana de Micología en octubre de 1965, haya tratado, de manera indirecta, un tema intrínsecamente relacionado con la micoquímica: "Consideraciones sobre los hongos alucinógenos de México" (Herrera, 1968; Mata et al., 2008).

Por todo lo anterior, y sin mayor afán de ser una revisión exhaustiva, el presente trabajo pretende ofrecer un panorama general del desarrollo de la micoquímica mexicana a través del recuento de algunos de sus principales trabajos hasta la fecha. Para su realización, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de la literatura relacionada con la micoquímica producida en nuestro país, tomando en cuenta como fuente central de información los archivos de la revista Scientia Fungorum en sus distintas épocas (1968-2018), pero también se incluyeron estudios publicados por científicos mexicanos en las principales revistas indexadas en el área. Los trabajos fueron agrupados de acuerdo a su enfoque de investigación y año de publicación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El término Micoquímica es muy amplio y abarca una gran variedad de temas, por lo que para facilitar la lectura de esta breve reseña histórica, se han agrupado en cinco secciones los estudios citados: micotoxinas,

estudios bromatológicos y afines, extractos crudos, aislamiento e identificación de metabolitos y enzimas.

Micotoxinas

La capacidad que tienen muchos hongos microscópicos de producir diversos tipos de micotoxinas, fue una de las primeras preocupaciones de los micólogos mexicanos. De acuerdo con una revisión bibliográfica realizada por Campos-Nieto y Robledo (1979), el primer estudio sobre intoxicaciones de origen micótico llevado a cabo en México, fue el reportado en la tesis de licenciatura en medicina veterinaria de Dantes de la Vega en 1932. En dicho estudio, Dantes de la Vega usó un lote de 10 caballos, a 5 de los cuales se les suministró un alimento contaminado por *Aspergillus glaucus*, mientras que el resto tuvo acceso a alimentos libres de contaminantes. Previsiblemente, todos los individuos que recibieron el alimento contaminado, presentaron muestras de intoxicación después de 24 horas (citado por Campos-Nieto y Robledo, 1979).

Muchos de los trabajos pioneros consistían en la descripción de los efectos de micotoxicosis en distintos animales. Así, por ejemplo, Campos-Nieto et al. (1977) reportaron el aborto de un bisonte americano en el zoológico de Chapultepec, causado por el consumo de aflatoxinas. Por su parte, Moreno (1977) discute las condiciones requeridas por distintos mohos para colonizar granos almacenados, y relaciona los compuestos con el hongo que los produce, p. ej. aflatoxinas y *Aspergillus flavus*; esterigmatocistina y *A. versicolor*; así como patulina y *Penicillium urticae*; sin embargo, dicha información procede de literatura especializada previa y no de un estudio químico llevado a cabo en cepas mexicanas.

Campos-Nieto (1978), identificó la presencia de aflatoxina B1 en 33 fetos bovinos abortados, mediante pruebas de cromatografía en capa fina. Posteriormente, este mismo autor reportó dos casos de abortos porcinos causados por aflatoxicosis (Campos-Nieto et al., 1980). García-Aguirre y Martínez-Flores (1985) aislaron diferentes cepas de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* a partir de 90 muestras de maíz amarillo, representativas del maíz consumido en Ciudad de México durante el verano de 1983; posteriormente, cultivaron las cepas de *Aspergillus* spp. previamente aisladas y determinaron su capacidad de producir aflatoxinas mediante pruebas cromatográficas y bioensayos de toxicidad en larvas de *Artemia salina*. Algunos años

después, estas mismas autoras, identificaron 12 especies pertenecientes al género *Penicillium* en muestras de maíz para consumo humano, todas ellas reportadas como productoras de micotoxinas (García-Aguirre y Martínez-Flores, 1991). Este mismo grupo de trabajo, analizó la presencia de aflatoxinas, zearalenona y ocratoxinas en cereales para el desayuno, comercializados en la Ciudad de México, y aunque no encontraron ninguno de los compuestos antes mencionados, pudieron aislar varias especies de mohos reportados como productoras de micotoxinas, especialmente pertenecientes a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (García-Aguirre et al., 1999). En un estudio posterior, estas investigadoras analizaron 11 muestras de distintas marcas comerciales de mazapán en busca de aflatoxinas. Una vez más, no reportaron haber encontrado micotoxinas en ninguna de las muestras, pero identificaron la presencia de mohos pertenecientes a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Absidia* (García-Aguirre y Martínez-Flores, 2006).

Esqueda Valle et al. (1995) reportaron la presencia de aflatoxina M1 en muestras de leche en polvo y pasteurizada, comercializada en Hermosillo, Sonora.

Carvajal et al. (2004) determinaron que la cantidad mínima de aflatoxina B1 capaz de inducir mutaciones en un modelo de *Salmonella typhimurium* es de 10 µg/kg. Trigos et al. (2008) aislaron 24 cepas de hongos reportados como productores de micotoxinas a partir de frutas y hortalizas comercializadas en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Posteriormente, Luna et al. (2010), aislaron 21 cepas *Aspergillus niger* a partir de muestras de café verde en condiciones de almacén, y determinaron su producción de ocratoxina A.

Díaz-Zaragoza et al. (2014), detectaron la presencia de aflatoxinas B1, B2, G1, G2, así como sus metabolitos hidroxilados y aflatoxicol, en pechugas de gallinas de postura.

Carvajal-Moreno (2015a), discutió el efecto de diversas micotoxinas, incluyendo a aflatoxinas, citreoviridina, moniliformina y fumonisinas, sobre la salud cardiovascular humana. Esta misma autora publicó una revisión de las principales características de la aflatoxina B1 como carcinógeno, así como algunas estrategias utilizadas para reducir sus riesgos en alimentos, y posteriormente analizó el papel de las aflatoxinas en el cáncer de sistema digestivo (Carvajal-Moreno 2015b, 2017).

Rosas-Contreras et al. (2016), analizaron e identificaron y cuantificaron la presencia de aflatoxinas B1, B2, G1

y G2, en muestras de chile ancho, guajillo y piquín procedentes de México, Turquía y Sudáfrica; Carvajal-Domínguez et al. (2016), estudiaron estas mismas micotoxinas en salsas picantes industrializadas; Hernández-Camarillo et al. (2016) cuantificaron la presencia de aflatoxinas M1 y M2 en muestras de queso artesanal tipo Oaxaca en la ciudad de Veracruz; mientras que Garduño-García et al. (2017), cuantificaron el contenido de aflatoxina B1, B2, G1 y G2 en muestras de pimienta negra, blanca y verde provenientes de Egipto, Turquía, India y México.

Estudios bromatológicos y afines

A pesar de la tradición cultural del consumo de hongos comestibles silvestres en México, fue hasta 1995 que aparece el primer reporte de la composición proximal de diversos especímenes de hongos silvestres comestibles (Trigos et al., 1995a). Posteriormente, León-Guzmán et al. (1997) reportaron el análisis proximal, contenido de ácidos grasos y aminoácidos libres de los hongos comestibles silvestres *Amanita rubescens*, *Boletus frostii*, *Lactarius indigo* y *Ramaria flava*.

Soto-Velazco et al. (2005) llevaron a cabo un análisis proximal de los residuos de cosecha de *Pleurotus columbinus* y *P. pulmonarius*, y encontraron que su contenido de proteínas era de 14.4 % y 8.98 % respectivamente, contando ambas cepas con cantidades aceptables de aminoácidos esenciales tales como isoleucina, lisina, leucina y metionina, lo cual sugeriría su uso potencial como ingrediente en la formulación de alimentos.

Álvarez-Parrilla et al. (2007) determinaron la composición proximal, contenido de fenoles totales y actividad antioxidante de dos cepas comerciales de *Agaricus bisporus*, y tres cepas de hongos comestibles silvestres pertenecientes a los géneros *Agaricus*, *Boletus* y *Macrolepiota*.

López-Peña et al. (2013) reportaron el contenido total de proteínas, grasa cruda, cenizas y carbohidratos del micelio de dos cepas de *Lentinula edodes*, obtenidas en cultivo sumergido con suplementación de extractos de madera de vid (López-Peña et al., 2013) y González-Tijera et al. (2014) analizaron el perfil de ácidos grasos presentes en los cuerpos fructíferos de tres especies comestibles pertenecientes al género *Pleurotus*; mientras que Robles-García et al. (2016) reportaron el análisis proximal y la determinación de la capacidad antioxidante de *Fistulinella wolfeana*, utilizado como

especie comestible en las comunidades otomíes de Tesquedó, Xajay y Tenasdá, en Amealco de Bonfil, Querétaro, México.

Extractos crudos

En la Micoquímica, el estudio de ciertas propiedades biológicas manifestadas por extractos crudos, da la pauta para motivar el estudio posterior de los metabolitos secundarios. Así, Muñoz y Dubovoy (1979a) estudiaron la capacidad antibiótica del basidiomicete *Schizophyllum commune* cultivado en diferentes medios y condiciones de pH y temperatura, y aunque no pudieron identificar a él o los metabolitos responsables de dicho efecto, reportaron su sospecha de que podía tratarse de un metabolito derivado de la vía del shikimato-corismato. Dichos autores, también notaron que la adición de cafeína al medio de cultivo de *S. commune* ocasionaba un decremento en su potencial antibiótico (Muñoz y Dubovoy, 1979b).

Por otro lado, Trigos et al. (2005a) estudiaron el efecto antibacteriano de los extractos acuosos de 14 cepas de hongos microscópicos aislados a partir del suelo y restos vegetales, encontrando que los extractos de *Menisporopsis theobromae* mostraban actividad inhibitoria contra *Staphylococcus aureus*, mientras que los extractos de *Idriella* sp. inhibían el crecimiento no solo de la cepa bacteriana antes mencionada, sino también de otras de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Erwinia carotovora* y *Agrobacterium tumefaciens*. Posteriormente, los compuestos responsables de dicho efecto fueron aislados e identificados, como se describe en Espinoza et al. (2008a). Este mismo grupo de trabajo investigó la actividad antifúngica de los extractos de cinco cepas pertenecientes a los géneros *Ceratocystis*, *Curvularia*, *Idriella*, *Phytophthora* y *Rhizopus*, encontrando que *Idriella* y *Rhizopus* presentan una actividad fungicida comparable con la del Captan® (Trigos et al., 2006; Espinoza et al., 2008b).

Mientras tanto, Valencia del Toro et al. (2008) investigaron la actividad inhibitoria de los extractos hexánicos de cuatro cepas de *Pleurotus djamor* contra las bacterias *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter agglomerans*, *Shigella dysenteriae*, *Yersinia enterocolitica*, *Klebsiella rhinoscleromatis* y *K. pneumoniae*; así mismo, determinaron de manera general que dichos extractos contenían azúcares, flavonoides y sesquiterpenlactonas, pero no llevaron a cabo ningún

proceso posterior de aislamiento e identificación de metabolitos a mayor profundidad.

Cinco años después, Leyva et al. (2013) estudiaron la fracción polar y no polar del extracto metanol:agua (70:30) de *Phellinus merrillii*, determinando su contenido de fenoles y flavonoides totales, así como su capacidad antioxidante y antibacteriana contra las cepas patógenas *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* y *S. aureus*, mientras que Villanueva-Arce et al. (2013) reportaron el efecto inhibitorio de los extractos crudos concentrados de pigmentos del hongo *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*), sobre las bacterias *Salmonella typhi* y *S. aureus*, pero no sobre *B. subtilis*, *Shigella* sp., *E. coli*, ni la levadura *Candida albicans*, y los hongos *Colletotrichum acutatum*, *C. fragariae* y *C. gloeosporioides*. De acuerdo con los autores de este estudio, el extracto crudo probablemente contenía fusarubina además de otros pigmentos afines, pero no llevaron a cabo ninguna identificación posterior de metabolitos a mayor profundidad.

Lagunes-Castro et al. (2015a) evaluaron el efecto del extracto cloroformo:metanol de *Fusarium moniliforme* sobre la producción de citocinas y su actividad citotóxica contra las líneas celulares Vero, MG-63, HBL-100, SW 1573, HeLa y WiDr. Este mismo grupo de trabajo, reportó la actividad inhibitoria de los extractos cloroformo:metanol de *C. gloeosporioides* y *C. musae* en contra de la bacteria *E. coli*, así como del extracto de *Idriella lunata* en contra de *E. coli*, *S. aureus* β-hemolítico y *P. aeruginosa* (Lagunes-Castro et al., 2015b).

López Sánchez et al. (2016) reportaron el efecto citotóxico de los extractos etanólicos de *Agaricus xanthodermus*, *Boletus amygdalinus* y *Gaeastrum corollinum*, sobre cultivos celulares de cáncer de pulmón H-460.

Meneses et al. (2016) investigaron el efecto de extractos hidroalcohólicos estandarizados de *Ganoderma lucidum* sobre parámetros bioquímicos del suero, contenido de grasa hepática, metabolismo del colesterol y composición de la microbiota intestinal, en ratones C57BL/6 alimentados con una dieta hipercolesterolémica, encontrando una reducción significativa en el colesterol sérico total, colesterol LDL, concentración de triglicéridos, colesterol hepático y triglicéridos hepáticos, asociada con una reducción en la expresión de genes lipogénicos.

Abriendo brecha en México con el estudio de hongos marinos, Couttolenc et al. (2016) reportaron el efecto

antiproliferativo del extracto cloroformo:metanol del hongo endofítico marino *Curvularia trifolii*, en contra de las líneas celulares HBL-100, HeLa, SW 1573, T-47D y WiDr.

Islas-Santillán *et al.* (2017a) estudiaron la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles en extractos acuosos y etanólicos de *Ganoderma brownii*, *G. applanatum* y *G. curtisii*; mientras que, Adebayo *et al.* (2018) analizaron las propiedades antioxidantes, bacteriostáticas y bactericidas de extractos hidroalcohólicos estandarizados de *Pleurotus levis*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* y *P. tuber-regium*.

Aislamiento e identificación de metabolitos

Entre los primeros trabajos específicamente micoquímicos realizados en nuestro país, hay que mencionar el estudio en el cual Domínguez *et al.* (1972) aislaron ergosterol y D-manitol a partir de *Ganoderma lucidum*, *Fomes ignarius* y *F. badius* originarios del estado de Nuevo León. Ese mismo grupo de trabajo reportó por primera vez el aislamiento de 1,4-dimetoxi-2-nitro-3,5,6-tricloro-benceno a partir de *F. robiniae* (Burtuille y Domínguez, 1972). Guzmán *et al.* (1975) se refirieron a dichos trabajos como algunos de los "pocos estudios químicos" enfocados en hongos poliporoides. Como veremos más adelante, apenas cuatro décadas han bastado para cambiar radicalmente dicho panorama.

Ott *et al.* (1975) reportaron el intento de identificar ácido iboténico, psilocibina y bis-nori-angonina, por cromatografía en capa fina, en muestras de 11 licoperdáceos supuestamente alucinógenos. Ninguno de los hongos estudiados presentó cantidades apreciables de dichos metabolitos, ni tampoco efectos psicotrópicos en voluntarios. Sin embargo, *Scleroderma verrucosum*, una de las especies descritas, fue causante de una intoxicación gastrointestinal, sin que el metabolito responsable pudiese ser identificado. Ott (1975) también discute acerca de las características del uso recreativo de hongos alucinógenos en Estados Unidos y México en la época. Ott y Guzmán (1976) determinaron la presencia de psilocibina en varias especies pertenecientes a los géneros *Psilocybe*, *Panaeolus* y *Psathyrella*. Estos mismos autores, también identificaron la presencia de psilocibina y psilocina en muestras de *Psilocybe stuntzii* (Guzmán y Ott, 1976).

Repke *et al.* (1977) identificaron la presencia de baeocistina en diversas colecciones de *Psilocybe*, *Conocybe*

y *Panaeolus* procedentes de Estados Unidos, Canadá, México y Perú; así mismo, demostraron la presencia de 4-hidroxitriptamina en *P. baeocystis* y *P. cyanescens*. Mundo Cansino y Ruíz-Herrera (1979) estudiaron la composición química de la pared celular de *Phycomyces blakesleeanus* y reportaron que está compuesta por quitina, quitosano, y dos poliurónidos distintos, además de proteínas, lípidos, fosfatos y azúcares neutros tales como fucosa, galactosa, glucosa y manosa. Posteriormente, Ramírez Chávez y Flores-Carreón (1991) estudiaron la composición química de las paredes celulares de dos cepas mutantes de este hongo, y encontraron diferencias en el contenido de azúcares totales y proteínas con respecto a la cepa silvestre.

Chinchilla *et al.* (1982), identificaron mediante análisis cromatográfico y bioensayos, la presencia de amanotoxinas α y β en muestras de *Amanita verna*. Aroche y Fuentes (1982), por su parte, reportaron la presencia de ciclopéptidos tóxicos, incluyendo amanitinas α , β y γ en los extractos metanólicos de *Amanita phalloides*, *A. virosa* y *A. bisporigera*. Posteriormente, Aroche *et al.* (1984) reportan la presencia de amanotoxinas y compuestos afines, identificados mediante el test de Meixner, cromatografía de capa fina y bioensayos, en distintas muestras de macromicetes silvestres de los municipios de Tenango del Aire y Chalco.

Sánchez *et al.* (1987) reportan la presencia de monómeros antraquinónicos como endocrocina, dermoluteina, dermorrubina, cinaluteina, cinarrubina, emodina, parietina, dermoglaucina, dermocybina (sic) y falacinol en seis especies pertenecientes al género *Dermocybe* y discuten su uso como marcadores quimiotaxonómicos. Ayer y Peña-Rodríguez (1987a), reportaron el aislamiento de fitotóxicas específicas del cultivo de canola a partir del hongo fitopatógeno *Alternaria brassicae*, las cuales fueron identificadas como destruxina B y desmetildestruxina B, ambas ya conocidas, así como homodestruxina B no descrita anteriormente. También, reportaron la producción de otros metabolitos, incluyendo los nuevos drimanos sesquiterpenos llamados desoxiuidina B, albrassitriol e isoalbrassitriol, así como brassicadiol y un pentacétido prenilado C₁₅ (Ayer y Peña-Rodríguez, 1987b).

Pérez-Silva *et al.* (1988), mediante cromatografía en placa fina, identificaron la presencia de los pigmentos ácido cinabarínico y cinabarina en los cuerpos fructíferos de *Pycnoporus sanguineus*.

Lappe et al. (1989) cuantificaron el contenido de etanol, ácido láctico y ácido acético en tejuino (una variedad de cerveza de maíz) producido por *Saccharomyces cerevisiae* y *Geotrichum candidum*, mediante cromatografía de gases.

Bandala-González y Trigos (1990) determinaron la presencia de alcaloides en diez especies de hongos de la zona del Cofre de Perote, Veracruz, previamente reportadas como comestibles. De igual forma, Trigos y Martínez-Carrera (1992) identificaron la presencia de ergosterol en *P. ostreatus* y posteriormente, Trigos reportó una serie de trabajos relacionados con la presencia de este metabolito, componente esencial de la membrana celular de los hongos y precursor sintético de la vitamina D₂, en una gran variedad de hongos silvestres y cultivados mexicanos, dentro del marco de un proyecto del CYTED con el ánimo de motivar la Química de Hongos en Latinoamérica, incluyendo diversas especies del género *Pleurotus*, *Russula olivacea*, e incluso en *Phytophthora drechsleri*, un oomicete a partir del cual dicho compuesto no había sido previamente aislado (Trigos y Franco, 1993; Trigos et al., 1994; Trigos et al., 1996a; Trigos et al., 1997a; Trigos et al., 1999; Trigos et al., 2005b).

Dada la ubicuidad del ergosterol en el reino *Fungi*, no resulta sorprendente la importancia de su estudio. En ese sentido, Trigos y Ortega Regules (2002) estudiaron la reacción química de foto oxidación del ergosterol a peróxido de ergosterol, como una estrategia alternativa contra las micosis, produciendo así la destrucción selectiva de hongos microscópicos patógenos. Años después, Trigos et al. (2011) estudiaron el papel de la macrosporina aislada a partir de *Stemphylium lycopersici*, en la formación de manchas necróticas causadas por este hongo fitopatógeno, basándose en la formación de oxígeno singulete, monitoreando éste, a través de la fotooxidación del ergosterol. Posteriormente, Lagunes y Trigos (2015) utilizaron dicha reacción de foto oxidación para detectar de manera indirecta el efecto fotosensibilizador de diversos compuestos antioxidantes de origen natural. Medina et al. (2015) estudiaron los mecanismos del daño oxidativo inducido por radicales peróxido al ergosterol en medio lípido, a través de modelos *in silico*; mientras que, Lagunes et al. (2017) con ésta misma fotooxidación sugieren el efecto prooxidante del vino tinto en presencia de Luz.

Por su parte, Gamboa-Angulo et al. (1997), aislaron metabolitos fitotóxicos a partir del cultivo de *Alternaria*

solani, los cuales fueron identificados como zinniol, homozinniol y 6-[(3',3'-dimetilalil)oxi]-4-metoxi-5-metilftalida. Posteriormente, este grupo de trabajo aisló dos nuevos policétidos fitotóxicos llamados tagetolona y tagetenolona, además de tirosol y ácido p-hidroxibenzoico a partir del extracto crudo orgánico de filtrados de cultivo del hongo patógeno *Alternaria tagetica*. Complementariamente reportaron el aislamiento, síntesis y correlación estructura-actividad de derivados naturales de zinniol producidos por *A. tagetica* (Gamboa-Angulo et al., 2000; Gamboa-Angulo et al., 2001; Gamboa-Angulo et al., 2002).

Arana-López et al. (2003), aislaron peróxido de ergosterol y una mezcla compleja de triglicéridos a partir del micelio de *A. tagetica*. Moreno-Escobar et al. (2005), aislaron metabolitos que causan necrosis en hojas de papa, a partir de la purificación guiada de *A. solani*. Estas fitotoxinas fueron identificadas como 2-(2'',3''-dimetil-but-1-enil)-zinniol, 8-zinniol metil éter, 5-(3',3'-dimetilaliloxi)-7-metoxi-6-metil-ftalida y 8-zinniol-2-(fenil)-etil éter.

Paralelamente a los trabajos antes mencionados, Trigos et al. iniciaron el aislamiento de dicetopiperacinas bioactivas a partir de cultivos miceliares de hongos fitopatogenos y así en 1995 reportaron el aislamiento de la ciclo-(L-prolil-L-glicina), la ciclo-(L-prolil-L-valina) y la ciclo-(L-leucil-L-prolina) a partir de *Fusarium oxysporum*. Un año después, aíslan por vez primera la dicetopiperazina denominada macrofominol a partir de *Macrophomina phaseolina*, y después identifican la presencia de ciclo-(L-prolil-L-glicina), ciclo-(L-prolil-L-valina), ciclo-(L-leucil-L-prolina), ciclo-(L-tirosil-L-prolina) y ciclo-(L-alanil-L-prolina) en un cultivo de *Pestalotia palmarum*; así como, ciclo-(L-prolil-L-glicina), ciclo-(L-prolil-L-valina), ciclo-(L-leucil-L-prolina), ciclo-(L-alanil-L-prolina) y ciclo-(L-fenilalanil-L-prolina) en *C. gloeosporioides*; y ciclo-(L-valil-L-prolina), ciclo-(L-leucil-L-prolina) y ciclo-(L-isoleucil-L-prolina) en *Emericella rugulosa* (Trigos et al., 1995b y c; Trigos et al., 1996b; Trigos et al., 1997b; Trigos et al., 2005c).

Continuando con la química de hongos microscópicos, ese mismo grupo (2001) aisló el esteroil fluorescente ergosta-4,6,8(14),22-tetraen-3-ona, además de ergosterol y cerevisterol a partir de *Fusarium semitectum*. Guzmán-López et al. (2007) reportaron el aislamiento de tirosol y triptofol a partir de *Ceratocystis adiposa*. Al año siguiente, Espinoza et al. (2008a) pudieron aislar 5-hidroximetil-2-furaldehído

y 1-n-butil- β -D-glucopiranosido a partir de extractos metanólicos del caldo de cultivo de *Idriella* sp. Ambos compuestos presentaron actividad inhibitoria *in vitro* en contra de las bacterias *Xanthomonas axonopodis*, *Pectobacterium carotovorum*, *P. chrysanthemi* y *Erwinia amylovora*.

Cruz-Cruz et al. (2009), establecieron una estrategia para purificar las fitotoxinas hidrofílicas presentes en el filtrado acuoso de *Mycosphaerella fijiensis*. Dos años más tarde, evaluaron los efectos fisiológicos de estas fitotoxinas hidrofílicas producidas por *M. fijiensis*, agente causal de la enfermedad sigatoka negra en plantas de banano (Cruz-Cruz et al., 2011).

Márquez-Fernández et al. (2013a) reportaron el aislamiento de ácido palmítico, ácido oléico, ácido esteárico y ácido linoléico a partir de los glomérulos de *C. gloeosporioides* cultivado en medio líquido. Este mismo grupo de trabajo, reportó el aislamiento de cuatro derivados del lanosterol a partir de *Pisolithus arhizus*, los cuales fueron identificados como 22-R-lanostan-8, 24(28)-dien-3 β , 22-diol; 22-R-lanostan-28-metil-8, 24(28)-dien-3 β , 22-diol; pisolactona y 25-metil-pisolactona (Márquez-Fernández et al., 2013b).

Trigos et al. (2013) reportan el aislamiento de epicosporina con actividad antiproliferativa en contra de cultivos celulares de las líneas HBL-100, HeLa, SW 1573 y WiDr, a partir de cultivos de *Cercospora piaropi*.

Por otro lado, Martín-Rodríguez et al. (2014) analizaron el perfil metabólico de los extractos de 75 hongos acuáticos aislados a partir de arrecifes, lagos salinos y manglares, en busca de metabolitos capaces de inhibir la comunicación entre células bacterianas conocidas como "quorum sensing". Entre los compuestos reportados en este estudio, destacan los siguientes: sespéndol, lisofungina, ácido fusárico, N-acetil-O-preniltirosina, tricoseína, beauvericina, beauvericina D, emericelamida A, varicolorina N, verrucarina B y penicitido B, entre otros.

Mientras que, a partir de un hongo marino, Espinoza et al. (2016) aislaron ergosterol, peróxido de ergosterol, cerevisterol y brefeldina A con efecto antiproliferativo sobre células tumorales, a partir del micelio cultivado de *Curvularia trifolii*.

Debido al potencial medicinal que representa el género *Ganoderma*, Trigos y Suárez-Medellín (2011) llevaron a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva, en la que se describieron los metabolitos derivados del lanosterol aislados hasta ese momento a partir de diversas es-

pecies de dicho género. Lo anterior, dio pauta a una serie de trabajos químicos relacionados con estos hongos medicinales. Así, Suárez-Medellín et al. (2014), aislaron ergosterol, acetato de ergosterol, ergosta-7,22-dien-3 β -ol, peróxido de ergosterol, ergosta-7,22-dien-3-ona, cerevisterol, ácido ganodérico DM, lucidumol A, ganoderitriol M y ganoderiol D a partir de los basidiocarpos silvestres de una cepa mexicana de *G. lucidum*. Por su parte, Mendoza et al. (2015) estudiaron los carpóforos silvestres y el micelio cultivado en medio líquido de *G. oerstedii*. A partir de los cuerpos fructíferos aislaron cinco esteroides (ergosta-7,22-dien-3 β -ol, peróxido de ergosterol, ergosterol, cerevisterol, y ergosta-7,22-dien-3-ona) y tres triterpenoides (ganodermanondiol, ácido ganodérico Sz y ganoderitriol M), mientras que a partir del micelio cultivado obtuvieron ergosterol, cerevisterol y acetato de ácido ganodérico Y.

Suárez-Medellín et al. (2016) realizaron un análisis de cribado virtual para determinar la capacidad de los derivados del lanosterol aislados a partir de diversas especies pertenecientes al género *Ganoderma* como ligandos específicos del receptor nuclear de vitamina D humano. Este mismo grupo de trabajo, también llevó a cabo un análisis *in silico* para determinar cuáles de los metabolitos esteroideos de *Ganoderma* spp. podrían actuar como ligandos selectivos del receptor de andrógenos humano. Ambos estudios tenían como finalidad explorar algunos de los mecanismos que explicarían el efecto antiproliferativo reportado para este grupo de compuestos (Vidal-Limón et al., 2017).

Ramos-Ligonio et al. (2017) evaluaron el efecto proinflamatorio de la ergosta-7,22-dien-3-ona aislada a partir de los cuerpos fructíferos de *G. oerstedii*.

Islas-Santillán et al. (2017b) reportan el aislamiento de los esteroides previamente conocidos ergosterol, estelasterol, peróxido de ergosterol y 5 α -ergosta-7,22-dien-3-ona, a partir de los basidiocarpos de *G. curtisii* y *G. applanatum*.

Finalmente, los estudios químicos de hongos comestibles con potencial terapéutico, se encuentran representados mediante los reportes de Ramos-Ligonio et al. (2012), sobre el efecto en contra de *Trypanosoma cruzi* del peróxido de ergosterol aislado a partir de *P. ostreatus* y la posterior demostración de que el acetato de peróxido de ergosterol, obtenido semisintéticamente a partir del metabolito antes mencionado, también posee actividad tripanocida (Lobato-Tapia et al., 2012), así como con el trabajo de Meza-Menchaca et

al. (2015) acerca del efecto amebicida ejercido por el peróxido de ergosterol aislado a partir de *P. ostreatus*. Mata et al. (2014) analizaron la composición química de volátiles presentes en *Lentinula edodes* y *L. boryanus*, encontrando que los compuestos característicos del aroma de las especies antes mencionadas son 3-octanona y 3-octanol, respectivamente. Por su parte Márquez-Fernández et al. (2014) reportaron el aislamiento de ergosterol, peróxido de ergosterol, cerevisterol, $3\beta,5\alpha,6\beta,9\alpha$ -tetrahidroxiergosta-7,22-dieno y $3\beta,5\alpha,9\alpha$ -trihidroxiergosta-7,22-dien-6-ona a partir de una cepa comercial de *Pleurotus* sp.

Enzimas

Reyna y Ruíz-Herrera (1987) estudiaron el mecanismo de la foto-activación de la enzima quitina sintetasa presente en los esporangióforos de *Phycomyces blakesleeanus*. Por su parte, Ávalos Lozano y Flores-Carreón (1989) aislaron y caracterizaron una enzima glucoronosil transferasa involucrada en la biosíntesis de poliuronidos, a partir de extractos libres de células de *P. blakesleeanus*.

Chagolla et al. (1987) reportaron la presencia de enzimas quitinasas en el citosol, membranas y paredes celulares de *Mucor rouxii*. Hernández Delgadillo y Ruíz-Herrera (1989) estudiaron las propiedades de la quitina sintetasa aislada a partir de las subunidades 16S de *M. rouxii*, mientras que Alvarado et al. (1989) aislaron una fracción proteolítica capaz de inactivar a la quitina sintetasa, a partir del citosol de ese mismo hongo.

Toriello et al. (1988) determinaron las actividades enzimáticas de cinco cepas de *Histoplasma capsulatum* en fase levaduriforme, encontrando en todas ellas las actividades de fosfatasa alcalina, esterasa lipasa C8, fosfatasa ácida y fosfoamidasa, así como lipasa C14 y leucina arilamidasa en cuatro de ellas.

Salmones y Mata (2005) estudiaron el efecto de la presencia de compuestos solubles de lignina y fenoles sobre la producción de la enzima lacasa en 30 cepas pertenecientes al género *Pleurotus*, cultivadas bajo distintas condiciones. Posteriormente, estos mismos autores estudiaron la relación entre la actividad *in vitro* de la enzima lacasa y el crecimiento micelial en 71 cepas de *Pleurotus djamor* (Salmones y Mata, 2015). Esta especie es particularmente interesante en nuestro país dada su amplia distribución (Salmones, 2017).

Murrieta Hernández et al. (2005) llevaron a cabo un análisis electroforético de proteínas totales e isoenzimas esterasas en seis cepas pertenecientes a tres especies del género *Pleurotus*, con el fin de proponer el uso de marcadores bioquímicos como una alternativa a las características morfológicas en la identificación taxonómica.

Márquez-Fernández et al. (2007) estudiaron el papel de la enzima fosfopantenil transferasa CfwA/NpgA en el metabolismo de las aflatoxinas en *Aspergillus nidulans*.

Castellanos-Moguel et al. (2008) estudiaron la relación entre la actividad de las proteasas y quitinasas de *Paezilomyces fumosoroseus* con su virulencia en contra de la mosquita blanca *Trialeurodes vaporariorum*.

Sánchez-Rosario et al. (2011) estudiaron la producción de fenol oxidasa en tres cepas de *Scytalidium thermophilum* y caracterizaron la enzima proveniente de la cepa más productiva, encontrando que se trataba de una hemoproteína glicosilada con 0.7 moles de Fe por mol de proteína.

Adame-García et al. (2011) estudiaron la variación isoenzimática de las esterasas, en relación con la patogenicidad de diversas cepas de *Fusarium* sp., asociadas a la pudrición de tallo y raíz de vainilla.

Flores-Giubi et al. (2014) aislaron una proteína inductora de necrosis identificada como p47f, a partir del secretoma de *Phytophthora capsici*.

Gutiérrez-Soto et al. (2015) analizaron la capacidad de producción de enzimas celulasas, xilanasas, pectinasas, amilasas y lacasas en 74 cepas de basidiomicetes macroscópicos, aisladas en diferentes ecotipos del noreste de México. Posteriormente, este mismo grupo de trabajo determinó la capacidad de *Pycnoporus sanguineus*, *Trametes maxima*, *T. versicolor* y *T. hirsuta* para producir celulasas, xilanasas y lacasas, y evaluó su potencial en la biotransformación de pasto buffel (Medina-González et al., 2016).

Orencio-Trejo et al. (2016) evaluaron la producción de celulasa, endoglucanasa, exoglucanasa, xilanasas, β -glucosidasa y β -xilosidasa en *Talaromyces stollii*.

CONCLUSIONES

Como hemos visto a través de este somero recorrido histórico, durante la segunda mitad del siglo XX y lo que va del XXI se logró el establecimiento en nuestro país de una floreciente tradición en el estudio de la

micoquímica. Hoy por hoy, la disciplina se encuentra en su mejor momento, como lo atestigua la creciente cantidad y calidad de los trabajos publicados durante los últimos años; sin embargo, aún queda mucho por hacer, la proverbial biodiversidad de hongos mexicanos dista de haber sido totalmente estudiada, no ya digamos su capacidad de producir metabolitos secundarios útiles o nocivos para el hombre. Queda para las siguientes generaciones de especialistas en química y biotecnología de hongos, la responsabilidad de continuar con tan titánica tarea.

LITERATURA CITADA

- Adame-García, J., Á. Trigos, L.G. Iglesias-Andreu, N. Flores-Estevez, M. Luna, 2011. Variaciones isoenzimática y patogénica de *Fusarium* spp. asociadas con la pudrición de tallo y raíz de vainilla. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 299-306.
- Adebayo, E.A., D. Martínez-Carrera, P. Morales, M. Sobal, H. Escudero, M.E. Meneses, A. Avila-Nava, I. Castillo, M. Bonilla, 2018. Comparative study of antioxidant and antibacterial properties of the edible mushrooms *Pleurotus levis*, *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* and *P. tuber-regium*. *International Journal of Food Science and Technology* 53: 1316-1330. DOI:10.1111/ijfs.13712.
- Alvarado, M.B., M. Pedraza, E. López-Romero, 1989. Estudio de una fracción proteolítica de *Mucor rouxii* que inactiva la quitina sintetasa. *Revista Mexicana de Micología* 5: 9-22.
- Álvarez-Parrilla, E., L.A. de la Rosa, N.R. Martínez, G.A. González Aguilar, 2007. Total phenols and antioxidant activity of commercial and wild mushrooms from Chihuahua, Mexico. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5 (5): 329-334. <https://doi.org/10.1080/11358120709487708>
- Arana López, G., M. Gamboa Angulo, K. García Sosa, F. Escalante Erosa, L. Peña Rodríguez, 2003. A chemical study of the mycelium of *Alternaria tagetica*. *Journal of the Mexican Chemical Society* 47 (4): 303-306.
- Aroche, R.M., J. Cifuentes, F. Lorea, P. Fuentes, J. Bonavides, H. Galicia, E. Menéndez, O. Aguilar, V. Valenzuela, 1984. Macromicetos tóxicos y comestibles de una región comunal del Valle de México, I. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 19: 291-318.
- Aroche, R.M., P. Fuentes, 1982. Presencia de ciclopéptidos tóxicos en algunas especies de la sección *Phalloidae* del género *Amanita* en México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 17: 187-195.
- Ávalos Lozano, M.A., A. Flores-Carreón, 1989. Biosíntesis de poliurónidos en *Phycomyces blakesleeanus*: Caracterización de la glucuronosil transferasa. *Revista Mexicana de Micología* 5: 43-65.
- Ayer, W.A., L.M. Peña-Rodríguez, 1987a. Metabolites produced by *Alternaria brassicae*, the black spot pathogen of canola. Part 1. The phytotoxic components. *Journal of Natural Products* 50(3): 400-407. DOI: 10.1021/np50051a010
- Ayer, W.A., L.M. Peña-Rodríguez, 1987b. Metabolites produced by *Alternaria brassicae*, the black spot pathogen of canola. Part 2. Sesquiterpenoid metabolites. *Journal of Natural Products* 50(3): 408-417. DOI: 10.1021/np50051a011
- Bandala-González, E., A. Trigos-Landa, 1990. Determinación de alcaloides de algunas especies de hongos de la región del cofre de Perote, Veracruz, México. *Micología Neotropical Aplicada* 3: 41-47.
- Butruille, D., X.A. Domínguez, 1972. Un nouveau produit naturel: Dimethoxy-1,4 Nitro-2 trichloro-3,5,6 Benzene. *Tetrahedron Letters* 3: 211-212. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)84282-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)84282-9)
- Campos-Nieto, E., 1978. Aborto micótico exógeno indirecto en bovinos de México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 12: 117-124.
- Campos-Nieto, E., A. Cruz, J. Leyva, 1980. Dos casos de aborto porcino en una posible asociación con aflatoxina B1. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 14: 101-105.
- Campos-Nieto, E., J. Leyva, R. Pérez, 1977. Aborto producido por aflatoxinas en un bisonte del zoológico de Chapultepec, México, D.F. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 11: 111-114.
- Campos-Nieto, E., E. Robledo, 1979. Los estudios sobre las aflatoxicosis animales en México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 13: 243-252.
- Carvajal-Domínguez, H.G., M. Carvajal-Moreno, S. Ruíz-Velasco, M.T. Álvarez-Bañuelos, 2016. Presence of aflatoxins (mutagens and carcinogens) in industrialized chili sauces. *Pharmaceutica Analytica Acta* 7: 477. DOI:10.4172/2153-2435.1000477.
- Carvajal-Moreno, M., 2015a. Mycotoxins that affect the human cardiovascular system. *Pharmaceutica Analytica Acta* 6: 365. DOI:10.4172/21532435.1000365.
- Carvajal-Moreno, M., 2015b. Metabolic changes of aflatoxin B1 to become an active carcinogen and the control of this toxin. *Immunome Research* 11:104. DOI:10.4172/1745-7580.10000104.
- Carvajal-Moreno, M. 2017. Do gastroenterologists consider aflatoxins as origin of digestive system cancers? *Journal of Pharmacovigilance* 5: 242. DOI:10.4172/2329-6887.1000242.
- Carvajal, M., J.J. Espinosa-Aguirre, M.G. Moctezuma, M.E. Gonsébbatt, F. Rojo, I. Pérez-López, 2004. Minimal amount of aflatoxin b₁ to produce a mutation in the Ames test with *Salmonella thyphimurium* Ta-98. *Revista Mexicana de Micología* 19: 71-79.
- Castellanos-Moguel, R. Cruz-Camarillo, E. Aranda, T. Mier, C. Toriello, 2008. Relationship between protease and chitinase activity and the virulence of *Paecilomyces fumosoroseus* in *Trialetrodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Mexicana de Micología* 28: 71-80.
- Chagolla, A., M. Pedraza, E. López Romero, 1987. Actividad quitinolítica en extractos libres de células miceliales de *Mucor rouxii*. *Revista Mexicana de Micología* 3: 283-292.
- Chinchilla, E.F., R.M. Aroche, E. Pérez-Silva, P. Fuentes, 1982. Aspectos taxonómicos, químicos y farmacológicos de *Amanita verna* (agaricales). *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 17: 130-139.
- Couttolenc, A., C. Espinoza, J.J. Fernández, M. Norte, G.B. Plata, J.M. Padrón, A. Shnyreva, Á. Trigos, 2016. Antiproliferative effect of extract from endophytic fungus *Curvularia trifolii* isolated from the "Veracruz Reef System" in Mexico. *Pharmaceutical Biology* 8: 1392-1397. DOI: 10.3109/13880209.2015.1081254

- Cruz-Cruz, C.A., K. García-Sosa, F. Escalante-Erosa, L.M. Peña-Rodríguez, 2009. Production of hydrophilic phytotoxins by *Mycosphaerella fijiensis*. *Journal of General Plant Pathology* 75: 191-195. DOI: 10.1007/s10327-009-0165-1
- Cruz-Cruz, C.A., K. García-Sosa, F. Escalante-Erosa, L.M. Peña-Rodríguez, 2011. Physiological effects of the hydrophilic phytotoxins produced by *Mycosphaerella fijiensis*, the causal agent of black sigatoka in banana plants. *Journal of General Plant Pathology* 77: 93-100. <https://doi.org/10.1007/s10327-010-0288-4>
- Díaz-Zaragoza, M., M. Carvajal-Moreno, I. Méndez-Ramírez, N.C. Chilpa-Galván, E. Ávila-González, C.M. Flores-Ortiz, 2014. Aflatoxins, hydroxylated metabolites, and aflatoxicol from breast muscle of laying hens. *Poultry Science* 93: 3152-3162. DOI: 10.3382/ps.2014-04240
- Domínguez, X.A., D. Butruille, A. Zamudio, C. Reyes, J. Castillo, 1972. Ergosterol et L-mannitol dans des champignons parasites. *Phytochemistry* 11: 2616. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)88552-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)88552-0)
- Espinoza, C., A. Couttolenc, J.J. Fernández, M. Norte, G.B. Plata, J.M. Padrón, A. Shnyreva, Á. Trigos, 2016. Brefeldin-A: an anti-proliferative metabolite of the fungus *Curvularia trifolii* collected from the Veracruz Coral Reef System, Mexico. *Journal of the Mexican Chemical Society* 60(2): 79-82.
- Espinoza, C., G. Viniegra-González, O. Loera, G. Heredia, Á. Trigos, 2008a. Antibacterial activity against plant pathogens by cruded extracts and compounds from *Idriella* sp. *Revista Mexicana de Micología* 26: 9-15.
- Espinoza, C., G. Viniegra-González, O. Loera, B. Velásquez, Á. Trigos, 2008b. Antifungal activity of several fungi against plant pathogens. *Micologia Aplicada International* 20(2): 63-67.
- Esqueda Valle, M., I. Higuera-Ciapara, J. Nieblas, 1995. Aflatoxina M1 en leche comercializada en Hermosillo, Sonora, México. *Revista Mexicana de Micología* 11: 179-183.
- Flores-Giubi, M.E., M.A. Díaz-Brito, L. Brito-Argáez, K. García-Sosa, F. Escalante-Erosa, L.M. Peña-Rodríguez, I. Islas-Flores, 2014. Purification of p47f, a Necrosis-Inducing Protein Fraction from the Secretome of *Phytophthora capsici*. *Journal of Phytopathology* 162: 788-800. <https://doi.org/10.1111/jph.12271>
- Gamboa-Angulo M.M., F. Alejos-González, L.M. Peña-Rodríguez, 1997. Homozinnol, a new phytotoxic metabolite from *Alternaria solani*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45(1): 282-285. <https://doi.org/10.1021/jf960134p>
- Gamboa-Angulo, M.M., F. Alejos-González, F. Escalante-Erosa, K. García-Sosa, G. Delgado-Lamas, L.M. Peña-Rodríguez, 2000. Novel dimeric metabolites from *Alternaria tagetica*. *Journal of Natural Products* 63(8): 1117-1120. DOI: 10.1021/np990422q
- Gamboa-Angulo, M.M., F. Escalante-Erosa, K. García-Sosa, F. Alejos-González, G. Delgado-Lamas, L.M. Peña-Rodríguez, 2002. Natural zinnol derivatives from *Alternaria tagetica*. Isolation, synthesis, and structure-activity correlation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(5): 1053-1058. DOI: 10.1021/jf010641t
- Gamboa-Angulo, M.M., K. García-Sosa, F. Alejos-González, F. Escalante-Erosa, G. Delgado-Lamas, L.M. Peña-Rodríguez, 2001. Tagetolone and tagetenolone: Two phytotoxic polyketides from *Alternaria tagetica*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(3): 1228-1232. DOI: 10.1021/jf000872k
- García-Aguirre, G., R. Martínez-Flores, 1985. *Aspergillus flavus* y aflatoxinas en el maíz del Distrito Federal. *Revista Mexicana de Micología* 1: 189-199.
- García-Aguirre, G., R. Martínez-Flores, 1991. *Penicillium* en maíz para consumo humano: problema de biodeterioro y riesgo micotóxico potencial. *Revista Mexicana de Micología* 7: 139-148.
- García-Aguirre, G., R. Martínez-Flores, 2006. Mohos y aflatoxinas en mazapán. *Revista Mexicana de Micología* 23: 49-52.
- García-Aguirre, G., R. Martínez-Flores, M.J. Hernández Del Ángel, 1999. Mohos y micotoxinas en cereales para desayuno: estudio preliminar. *Revista Mexicana de Micología* 15: 37-40.
- Garduño-García, J.I., M. Carvajal-Moreno, F. Rojo-Callejas, S. Ruíz-Velasco, 2017. Detection of aflatoxins, mutagens and carcinogens in black, white and green peppers (*Piper nigrum* L.). *Journal of Microbial and Biochemical Technology* 9(3): 95-104. DOI: 10.4172/1948-5948.1000350
- González-Tijera, M., O. Márquez-Fernández, M.R. Mendoza-López, G. Mata, Á. Trigos, 2014. A comparison of fatty acid content in three species of the genus *Pleurotus*. *Revista Mexicana de Micología* 39: 41-45.
- Gutiérrez-Soto, G., G.E. Medina-González, J.E. Treviño-Ramírez, C.E. Hernández-Luna, 2015. Native macrofungi that produce lignin-modifying enzymes, cellulases, and xylanases with potential biotechnological applications. *BioResources* 10: 6676-6689.
- Guzmán, G., J. Ott, 1976. Description and Chemical Analysis of a new species of hallucinogenic psilocybe from the Pacific Northwest. *Mycologia* 68(6): 1261-1267. DOI: 10.2307/3758762
- Guzmán, G., R.G. Wasson, T. Herrera, 1975. Una iglesia dedicada al culto de un hongo, "Nuestro Señor del Honguito" en Chignahuapan, Puebla. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 9: 137-147.
- Guzmán-López, O., Á. Trigos, F.J. Fernández, M.J. Yañez-Morales, G. Saucedo-Castañeda, 2007. Tyrosol and tryptophol produced by *Ceratocystis adiposa*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 23: 1473-1477. DOI: 10.1007/s11274-007-9392-9
- Hernández-Camarillo, E., M. Carvajal-Moreno, V.J. Robles-Olvera, M. Vargas-Ortiz, M.A. Salgado-Cervantes, A.C. Roudot, G.C. Rodríguez-Jiménes, 2016. Quantifying the levels of the mutagenic, carcinogenic hydroxylated aflatoxins (AFM 1 and AFM 2) in artisanal oaxaca-type cheeses from the city of Veracruz, Mexico. *Journal of Microbial and Biochemical Technology* 8(6): 491-497. DOI: 10.4172/1948-5948.1000331
- Hernández Delgadillo, R., J. Ruíz-Herrera, 1989. Propiedades de la quitina sintetasa presente en las subunidades 16s de *Mucor rouxii*. *Revista Mexicana de Micología* 5: 23-41.
- Herrera, T., 1968. Breve reseña histórica de la fundación de la Sociedad Mexicana de Micología. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 1: 1-3.
- Islas-Santillán, M.A., A. Castañeda Ovando, A. Álvarez Delgadillo, R. Valenzuela Garza, L. Romero-Bautista, J.M. Torres-Valencia, 2017a. Estudio preliminar de la actividad antioxidante de tres especies del género *Ganoderma* (Polyporaceae) nativas del estado de Hidalgo, México. *Scientia Fungorum* 46: 37-45.

- Islas-Santillán, M.A., L. Romero-Bautista, R. Valenzuela, J.M. Torres-Valencia, 2017b. Esteroles principales de *Ganoderma curtsii* y *Ganoderma applanatum* del estado de Hidalgo, México. *Avances en Ciencia e Ingeniería* 9(1): 43-54.
- Lagunes, I., Á. Trigos, 2015. Photo-oxidation of ergosterol: Indirect detection of antioxidants photosensitizers or quenchers of singlet oxygen. *Journal of Photochemistry and Photobiology* 145: 30-34. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2015.02.014
- Lagunes, I., F Vázquez-Ortega, Á Trigos, 2017. Singlet oxygen detection using red wine extracts as photosensitizers. *Journal of Food Science* 82 (9): 2051-2055. DOI: 10.1111/1750-3841.13815
- Lagunes-Castro M.S., A. López Monteon, Á. Ramos-Ligonio, Á. Trigos, A. Salinas, C. Espinoza, 2015b. Actividad antibacteriana de extractos metanol:cloroformo de hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33: 87-94.
- Lagunes-Castro, M.S., Á. Trigos, A. López-Monteon, G. Mendoza, A. Ramos-Ligonio, 2015a. Cytotoxic activity and induction of inflammatory mediators of the methanol:chloroform extract of *Fusarium moniliforme*. *Revista Iberoamericana de Micología* 32(4): 235-241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.riam.2014.11.005>
- Lappe, P., M. Ulloa, J. Gómez, 1989. Estudio microbiano y cromatográfico del tejuino de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Micología* 5: 181-203.
- León-Guzmán, M.F., I. Silva, M.G. López, 1997. Proximate chemical composition, free amino acid contents, and free fatty acid contents of some wild edible mushrooms from Querétaro, México. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 4329-4332. DOI: 10.1021/jf970640u
- Leyva, J.M., J.J. Pérez-Carlón, G.A. González-Aguilar, M. Esqueda, J.F. Ayala-Zavala, 2013. Funcionalidad antibacteriana y antioxidante de extractos hidroalcohólicos de *Phellinus merrillii*. *Revista Mexicana de Micología* 37: 11-17.
- Lobato-Tapia, C., Á. Ramos-Ligonio, A. López-Monteon, H. Mansilla, Á. Trigos, 2012. *In vitro* trypanocidal activity of ergosterol and cholesterol derivative compounds. *Latin American Journal of Pharmacy* 31(8): 1126-1131.
- López-Peña, D. A. Gutiérrez, M. Esqueda, 2013. Cinética de crecimiento y composición química del micelio de *Lentinula edodes* cultivado en medio líquido suplementado con extractos de madera de vid. *Revista Mexicana de Micología* 37: 51-59.
- López Sánchez, H., N. Ayala Sánchez, O. Rodríguez Alcantar, A. Portillo López, A. Áñiguez Martínez, I. Soria Mercado, 2016. Actividad citotóxica de extractos de hongos silvestres de Ensenada, Baja California, México. *Revista Mexicana de Micología* 43: 37-42.
- Luna, M., Y. Lozada, Á. Trigos, 2010. Aislamiento de cepas de *Aspergillus niger*, productoras de ocratoxina A, en café verde (*Coffea arabica*) almacenado. *Revista Mexicana de Micología* 32: 63-68.
- Márquez-Fernández, O., M. Cano, A. Salinas, O. Guzmán-López, C. Espinoza, Á. Trigos, 2013a. Composición química de glomérulos producidos por *Colletotrichum gloeosporioides*. *Revista Mexicana de Micología* 38: 2-7.
- Márquez-Fernández, O., E. Herrera, O. Castellanos-Onorio, A. Estrada-Torres, Á. Trigos, 2013b. Identificación de un derivado de lanosterol procedente del hongo cultivado *Pisolithus arhizus* (scop.) Rauschert. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(2): 217-224. <http://dx.doi.org/10.5154/rchscfa.2012.10.056>
- Márquez-Fernández, O., L.A. Juárez Pacheco, Á. Trigos, 2014. Aislamiento e identificación de esteroides de una cepa comercial de *Pleurotus* sp. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(2): 227-235. <http://dx.doi.org/10.5154/rchscfa.2013.12.044>
- Márquez-Fernández, O., Á. Trigos, J.L. Ramos-Balderas, G. Viniegra-González, H.B. Deising, J. Aguirre, 2007. The phosphopantetheinyl transferase CfwA/NpgA is required for *Aspergillus nidulans* secondary metabolism and asexual development. *Eukaryotic Cell* 6: 710-720. DOI: 10.1128/EC.00362-06
- Martín-Rodríguez, A.J., F. Reyes, J. Martín, J. Pérez-Yépez, M. León-Barrios, A. Couttolenc, C. Espinoza, Á. Trigos, V.S. Martín, M. Norte, J.J. Fernández, 2014. Inhibition of bacterial quorum sensing by extracts from aquatic fungi: first report from marine endophytes. *Marine Drugs* 12: 5503-5526. DOI: 10.3390/md12115503
- Mata, G., D. Salmones, R. Medel, R. Gaitán-Hernández, 2008. La Revista Mexicana de Micología en cifras: 40 años de trabajo editorial. *Revista Mexicana de Micología* 28: 1-6.
- Mata, G., K., Valdez, R. Mendoza, Á. Trigos, 2014. HS/GC-MS analyzed chemical composition of the aroma of fruiting bodies of two species of genus *Lentinus* (higher basidiomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms* 16(5): 477-484. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.v16.i5.60
- Medina, M.E., C. Luga, Á. Trigos, 2015. Mechanism and kinetics of the oxidative damage to ergosterol induced by peroxy radicals in lipid media: a theoretical quantum chemistry study. *Journal of Physical Organic Chemistry* 29: 196-203. <https://doi.org/10.1002/poc.3520>
- Medina-González, G.E., H. Bernal Barragán, C.E. Hernández-Luna, C.A. Hernández-Martínez, G. Gutiérrez-Soto, 2016. Uso de basidiomicetos nativos en la biotransformación del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) para mejorar la calidad nutricional. *Revista Mexicana de Micología* 43: 31-35.
- Mendoza, G., J. Suárez-Medellín, C. Espinoza, A. Ramos-Ligonio, J. J. Fernández, M. Norte, Á. Trigos, 2015. Isolation and characterization of bioactive metabolites from fruiting bodies and mycelial culture of *Ganoderma oerstedii* (Higher Basidiomycetes) from Mexico. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 17(6): 501-509. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.v17.i6.10
- Meneses, M.E., D. Martínez-Carrera, N. Torres, M. Sánchez-Tapia, M. Aguilar-López, P. Morales, M. Sobal, T. Bernabé, H. Escudero, O. Granados-Portillo, A.R. Tovar, 2016. Hypocholesterolemic properties and prebiotic effects of Mexican *Ganoderma lucidum* in C57BL/6 mice. *Plos One* 11(7): e0159631. DOI:10.1371/journal.pone.0159631.
- Meza-Menchaca, T., J. Suárez-Medellín, C. Del Ángel-Piña, Á. Trigos, 2015. The amoebicidal effect of ergosterol peroxide isolated from *Pleurotus ostreatus*. *Phytotherapy Research* 29(12):1982-6. DOI: 10.1002/ptr.5474.
- Moreno, E., 1977. Los hongos y la calidad de los granos y semillas. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 11: 127-135.
- Moreno-Escobar J., A. Puc-Carrillo, M.C. Ceres-Farfán, L.M. Peña-Rodríguez, M. Gamboa-Angulo, 2005. Two new zinniol-relat-

- ed phytotoxins from *Alternaria solani*. Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters 19(6): 603-607. <https://doi.org/10.1080/14786410410001729159>
- Mundo Cansino, J., J. Ruíz-Herrera, 1979. Aislamiento, purificación y composición química de la pared celular de los esporangióforos de *Phycomyces blakesleeanus*. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 13: 39-45.
- Muñoz, A., C. Dubovoy, 1979a. Estudio fisiológico de la antibiosis de *Schizophyllum commune*. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 13: 5-29.
- Muñoz, A., C. Dubovoy, 1979b. Influencia de la cafeína en la antibiosis de *Schizophyllum commune*. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 13: 30-37.
- Murrieta Hernández, D.M., I. Iglesias Andreu, G. Mata, 2005. Caracterización bioquímica de seis cepas de *Pleurotus*. Revista Mexicana de Micología 21: 71-76.
- Orencio-Trejo, M., J. Torres-Granados, A. Rangel-Lara, E. Beltrán-Guerrero, S. García-Aguilar, C. Moss-Acosta, H. Valenzuela-Soto, S. De la Torre-Zavala, A. Gastelum-Arellanes, A. Martínez, A. Tiessen, E. Díaz-Mireles, E. Lozoya-Gloria, 2016. Cellulase and xylanase production by the mexican strain *Talaromyces stollii* LV186 and its application in the saccharification of pretreated corn and sorghum stover. Bioenergy Research 9:1034-1045. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9791-6>
- Ott, J., 1975. Notes on recreational use of hallucinogenic mushrooms. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 9: 131-135.
- Ott, J., G. Guzmán, 1976. Detection of psilocybin in species of *Psilocybe*, *Panaeolus* and *Psathyrella*. Lloydia 39: 258-260.
- Ott, J., G. Guzmán, J. Romano, J.L. Díaz, 1975. Nuevos datos sobre los supuestos licoperdáceos psicotrópicos y dos casos de intoxicación provocados por hongos del género *Scleroderma* en México. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 9: 67-76.
- Pérez-Silva, E., E. Aguirre-Acosta, C. Pérez-Amador, 1988. Aspectos sobre el uso y la distribución de *Pycnoporus sanguineus* (polyporeaceae) en México. Revista Mexicana de Micología 4: 137-144.
- Ramos-Ligonio, Á., A. López-Monteon, Á. Trigos, 2012. Trypanocidal activity of ergosterol peroxide from *Pleurotus ostreatus*. Phytotherapy Research 26: 938-943. <https://doi.org/10.1002/ptr.3653>
- Ramos-Ligonio, Á., A. López-Monteon, M.S. Lagunes-Castro, J. Suárez-Medellín, C. Espinoza, G. Mendoza, Á. Trigos, 2017. *In vitro* expression of toll-like receptors and proinflammatory molecules induced by ergosta-7,22-dien-3-one isolated from a wild mexican strain of *Ganoderma oerstedii* (Agaricomycetes). International Journal of Medicinal Mushrooms 19(3): 203-211. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i3.20
- Ramírez Chávez, E., A. Flores-Carreón, 1991. Composición química de las paredes celulares de las esporas de las mutantes S-347 y S-377 de *Phycomyces blakesleeanus*. Revista Mexicana de Micología 7: 11-20.
- Repke, D.B., D.T. Leslie, G. Guzmán, 1977. Baeocystin in *Psilocybe*, *Conocybe* and *Panaeolus*. Lloydia 40(6): 566-578
- Reyna, G., J. Ruíz-Herrera, 1987. Fotoactivación *in vitro* de la quitina sintetasa de los esporangióforos de *Phycomyces blakesleeanus*. Revista Mexicana de Micología 3: 249-263.
- Robles-García, D., E. Yahia, J. García-Jiménez, E.U. Esquivel-Naranjo, F. Landeros, 2016. First ethnomycological record of *Fistulina wolfeana* as an edible species and some of its nutritional values. Revista Mexicana de Micología 44: 31-39.
- Rosas-Contreras, C., M. Carvajal-Moreno, F. Rojo-Callejas, S. Ruiz-Velasco, 2016. Identification and HPLC quantification of aflatoxins in dried chili peppers (*Capsicum annum* L.) in Mexico and other countries. Drug Metabolism & Toxicology 7(1): 198. DOI: 10.4172/2157-7609.1000198.
- Salmones, D., 2017. *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. Scientia Fungorum 46: 73-85.
- Salmones, D., G. Mata, 2005. Efecto de la presencia de compuestos solubles de lignina y fenoles sobre la producción de lacasa y biomasa en cultivos de *Pleurotus spp.* Revista Mexicana de Micología 21: 63-69.
- Salmones, D., G. Mata, 2015. Laccase production by *Pleurotus djamor* in agar media and during cultivation on wheat straw. Revista Mexicana de Micología 42: 17-23.
- Sánchez Macías, E., E. Pérez Silva, C. Pérez Amador, 1987. Consideraciones quimiotaxonómicas para el estudio de algunas especies del género *Dermocybe* (Cortinariaceae) en México. Revista Mexicana de Micología 3: 189-202.
- Sánchez-Rosario, Y., J.E. Sánchez, R. Vázquez-Duhalt, R.H. Andrade-Gallegos, 2011. Producción y caracterización de la fenol oxidasa de *Scytalidium thermophilum*. Revista Mexicana de Micología 34: 31-42.
- Soto-Velazco, C., J.C. Serratos, M. Ruíz López, P. García López, 2005. Análisis proximal y de aminoácidos de los residuos de cosecha del hongo *Pleurotus spp.* Revista Mexicana de Micología 21: 49-53.
- Suárez-Medellín, J., G. Mendoza, C. Espinoza, M. Suárez-Quiroz, Á. Trigos, 2014. Lanostanoids isolated from the basidiocarps of a mexican strain of the medicinal fungus *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. Latin American Journal of Pharmacy 33(2): 224-230.
- Suárez-Medellín, J., T. Meza-Menchaca, J.A. Quiroz Carranza, Á. Trigos, A.M. Vidal-Limon, 2016. *In silico* analysis of lanostanoids characterized in *Ganoderma* mushrooms (Agaricomycetes) as potential ligands of the vitamin D receptor. International Journal of Medicinal Mushrooms 18(11): 1037-1047. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.v18.i11.80
- Toriello, C., T. Mier, E. Ojeda, M.R. Reyes Montes, F. Mariat, M.L. Taylor, 1988. Actividades enzimáticas en levaduras de *Histoplasma capsulatum*. Revista Mexicana de Micología 4: 275-280.
- Trigos, Á., 1999. Química de los hongos. In: Rivera, A. (Ed.), Producción de vitamina D2 a partir de hongos macromicetos: Aspectos científicos, técnicos y económicos. CYTED-COLCIENCIAS, Bogotá. Pp. 19-61.
- Trigos, Á., D. Bouyssounade, M. Sobal, P. Morales, 1996a. Ergosterol content in *Pleurotus sajor-caju* cultivated on different organic substrates. Micología Neotropical Aplicada 9: 125-127.
- Trigos, Á., G. Cancela, J.M. Ramos, 1999. Sterols from the wild fungus *Russula olivácea*. Micología Neotropical Aplicada 12: 59-66.
- Trigos, Á., O. Castellanos-Onorio, A. Salinas, M.J. Yáñez-Morales, 2005b. Ergosterol from *Phytophthora drechsleri*, a unusual me-

- tabolite of a member of this genus. *Mycopathologia* 159(3): 469-471. <https://doi.org/10.1007/s11046-004-8156-4>
- Trigos, A., O. Castellanos-Onorio, A. Salinas, C. Espinoza, M.J. Yáñez-Morales, 2006. Antibiotic activity of several Phytopathogenic fungi. *Micología Aplicada International* 18(1): 3-6.
- Trigos, Á., C. Espinoza, M. Martínez, O. Márquez, L.G. León, J.M. Padrón, M. Norte, J.J. Fernández, 2013. Antiproliferative activity of epi-cercosporin in human solid tumor cell lines. *Natural Product Communications* 8(2): 187-189.
- Trigos, Á., C. Espinoza, L. Tovar, O. Guzmán, L. Cervantes, 2001. A fluorescent sterol from *Fusarium semitectum*. *Micología Aplicada International* 13(2): 93-96.
- Trigos, Á., G. Franco, 1993. Determinación de ergosterol en hongos silvestres mexicanos. *Micología Neotropical Aplicada* 6: 105-108.
- Trigos, A., A. López-Malo, A. Estrada, 1995a. Proximate composition of wild species of edible mushrooms from Mexico. *Micología Neotropical Aplicada* 8: 73-76.
- Trigos, Á., L.C. Martínez, E.E. López-Reyes, 2005c. Diketopiperazines from cultures of the fungus *Emericella rugulosa*. *Micología Aplicada International* 17 (1): 1-4.
- Trigos, Á., D. Martínez-Carrera, 1992. Identificación de Ergosterol en *Pleurotus ostreatus*. *Micología Neotropical Aplicada* 5: 11-15.
- Trigos, Á., D. Martínez-Carrera, R. Hernández, M. Sobal, 1997a. Ergosterol content in fruit of *Pleurotus ostreatus* is variable. *Micología Neotropical Aplicada* 10: 93-96.
- Trigos, Á., G. Mendoza, M. Luna, G. Heredia, R.M. Arias, 2005a. Evaluación antibacteriana de hongos microscópicos del suelo y restos vegetales. *Revista Mexicana de Micología* 20: 89-92.
- Trigos, Á., G. Mendoza, C. Espinoza, A. Salinas, J.J. Fernández, M. Norte, 2011. The role of macrosporin in necrotic spots. *Phytochemistry Letters* 4: 122-125. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2010.12.007>
- Trigos, Á., K., Ramírez, A. Salinas, 2008. Presencia de hongos fitopatógenos en frutas y hortalizas y su relación en la seguridad alimentaria. *Revista Mexicana de Micología* 28: 125-129.
- Trigos, Á., S. Reyna, L. Cervantes, 1995b. Three diketopiperazines from the cultivated fungus *Fusarium oxysporum*. *Natural Product Letters* 6: 241-246. <https://doi.org/10.1080/10575639508043166>
- Trigos, A., S. Reyna, B. Matamoros, 1995c. Macrophominol, a new diketopiperazine from cultures of *Macrophomina phaseolina*. *Phytochemistry* 40(6): 1697-1698. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00626-1](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00626-1)
- Trigos, A., S. Reyna, G. Galindo, J.M. Ramos, 1996b. Diketopiperazines from cultures of *Pestalotia palmarum*. *Natural Product Letters* 8: 199-205. <https://doi.org/10.1080/10575639608044894>
- Trigos, A., S. Reyna, M.L. Gutiérrez, M. Sánchez, 1997b. Diketopiperazines from cultures of the fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. *Natural Product Letters* 11: 13-16. <https://doi.org/10.1080/10575639708043751>
- Trigos, Á., N. Sambrano, 1992. ¿Nos habremos olvidado de los hongos? *Educación Química* 3(4): 290-297.
- Trigos, Á., J. Suárez-Medellín, 2011. Biologically active metabolites of the genus *Ganoderma*: Three decades of myco-chemistry research. *Revista Mexicana de Micología* 34: 63-83.
- Trigos, Á., A. Ortega-Regules, 2002. Selective destruction of microscopic fungi through photo-oxidation of ergosterol. *Mycologia* 94(4): 563-568. DOI: 10.2307/3761707
- Trigos, Á., T. Zayas, L. Ortuño, M. Sobal, P. Morales, 1994. Contenido de ergosterol en algunas especies cultivadas de *Pleurotus*. *Micología Neotropical Aplicada* 7: 43-46.
- Valencia del Toro, G., M.E. Garín Aguilar, M.A. Téllez Jaimes, E. Durán Páramo, 2008. Actividad antibacteriana de extractos hexánicos de cepas de *Pleurotus djamor*. *Revista Mexicana de Micología* 28: 119-123.
- Vidal-Limon, A.M., O.D., Luna-Martínez, F. Rojas-Durán, T. Meza-Menchaca, M.E. Hernández-Aguilar, Á. Trigos, J. Suárez-Medellín, 2017. Molecular dynamics and virtual screening analysis of lanosterol derivatives from *Ganoderma* medicinal mushrooms (Agaricomycetes) as selective ligands of human androgen receptor. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 19(7): 595-605. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2017021162
- Villanueva-Arce, R., C.A. Aguilar-Pompa, Y.M. Gómez y Gómez, G. Valencia-Del Toro, A.B. Piña-Guzmán, S. Bautista-Baños, 2013. Control de bacterias patógenas y hongos de postcosecha con extractos del pigmento de *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*). *Agrociencia* 47: 691-705.