



Aplicaciones y aprovechamiento biotecnológico de los hongos ascomicetos coprófilos de México

Pedro Miguel Alvarez-Cortés¹, Tania Raymundo¹, Ricardo Valenzuela¹, L. Gerardo Zepeda-Vallejo², Liliana Morales-Barrera³, Michelle Martínez-Pineda^{1,4}

¹Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica, Laboratorio de Micología, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Santo Tomás, Ciudad de México 11340, México; pedromacascomycota@gmail.com (P.M.A.C.); traymundoo@ipn.mx (T.R.); rvalenzg@ipn.mx (R.V.); mmartinezpin@ipn.mx (M.M.P)

²Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Química Orgánica, Laboratorio 4, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Santo Tomás, Ciudad de México 11340, México; lzepeda@ipn.mx (L.G.Z.V.)

³Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Av. Wilfrido Massieu s/n, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Ciudad de México 07738, México; lmoralesb@ipn.mx (I.M.B);

⁴Autor para la correspondencia: mmartinezpin@ipn.mx (M.M.P.)

RESUMEN

Los ascomicetos coprófilos son un grupo de hongos saprótrofos que juegan un rol importante en la descomposición y reciclamiento de los nutrientes contenidos en las deposiciones de los animales. En el metabolismo de estos organismos se producen moléculas tanto en los ascocarpos como en el medio, siendo los más interesantes, los derivados de terpenoides, alcaloides y compuestos fenólicos, que por su potencial aplicación en el ámbito farmacológico, en el tratamiento de enfermedades como infecciones por virus, bacterias y hongos, siendo incluso promisorios en el tratamiento del VIH; así como cosmético, por los pigmentos contenidos en la estructura del hongo, principalmente melaninas, carotenoides y azafilonas. Por ello es necesario estudiarlos por que se pueden obtener los medicamentos del futuro. El objetivo del presente trabajo es dar a conocer los ascomicetos coprófilos y su importancia en la búsqueda de nuevas moléculas para el combate de enfermedades actuales.

Palabras clave: metabolitos especiales, pigmentos, antimicrobianos, cultivo de hongos, excretas.



ABSTRACT

Coprophilic ascomycetes are a group of saprotrophic fungi that play an important role in the decomposition and recycling of nutrients contained in animal feces. In the metabolism of these organisms, molecules are produced both in the ascocarps and in the environment, the most interesting being those derived from terpenoids, alkaloids and phenolic compounds, which due to their potential application in the pharmacological fields, in the treatment of diseases such as infections by viruses, bacteria and fungi, becoming promising even in the treatment of HIV, cosmetic, due to the pigments contained in the structure of the fungus, mainly melanins, carotenoids and azaphylones. It is necessary to study them, with them the drugs of the future can be obtained, so the objective of this work is to raise awareness of coprophilic ascomycetes and their importance in the search for new molecules to combat current diseases.

Keywords: antimicrobials, fungal culture, feces, pigments, special metabolites.

1 INTRODUCCIÓN

Los hongos coprófilos o fimícolas son hongos que están especializados en la degradación de la materia orgánica (saprótrofos), que no se termina de digerir en el tracto gastrointestinal de los animales. Estos organismos han desarrollado estrategias de colonización del sustrato a través de la liberación de enzimas, en el caso de los animales herbívoros, los hongos liberan células que degradan los restos vegetales no digeridos ricos en celulosa para convertirlos en unidades pequeñas de azúcares (Bills et al. 2013).

Estos organismos han cobrado importancia recientemente por la capacidad de producir enzimas que pueden ser aprovechadas en procesos industriales como catalizadores de las reacciones, acelerando los procesos de producción (Ojwach et al., 2020). Por otra parte, sintetizan compuestos químicos que derivan del metabolismo primario y especial, dichos compuestos pueden ser utilizados por distintos sectores industriales (Cimmino et al. 2016). Sin embargo, aún es poco el estudio que se tiene de estos hongos, se requieren de más investigaciones que permitan aprovechar todo lo que estos organismos pueden ofrecer a la humanidad.

2 LA VIDA EN LOS DESECHOS

Los hongos coprófilos han desarrollado ciclos de vida que requieren de los procesos digestivos de los animales para subsistir y colonizar el medio, en este sentido requieren de modificaciones del pH para lograr la activación de las ascosporas, en este proceso, las esporas presentes en la hierba son consumidas por los animales, las esporas pasan por el tracto gastrointestinal del animal, permaneciendo un tiempo en condiciones ácidas por el pH del estómago y posteriormente pasan a condiciones alcalinas en el intestino, esto rompe la pared celular de la espora (perisporio) y estimula el desarrollo del micelio (Richardson y Watling, 1996).



Cuando el animal evacúa, el micelio comienza a desarrollarse y una vez que se den las condiciones de humedad, aireación, temperatura y luz adecuadas, se forman las estructuras de reproducción denominadas ascomas. Estos pueden ser de tipo peritecio o pseudotecio (forma de pera), apotecio (forma de copa o disco) o bien cleistotecio (estructuras globosas cerradas) (Ulloa y Hanlin 2006).

Dentro de los hongos coprófilos, los ascomicetos poseen mecanismos únicos de liberación de esporas. Las ascas se llenan de líquido, hinchándose hasta el punto en que las ascosporas son liberadas de forma violenta, facilitándose su dispersión con el viento (anemofilia), así alcanzan grandes distancias, en donde vuelven a caer en la hierba y el ciclo se repite (Richardson, 2019).

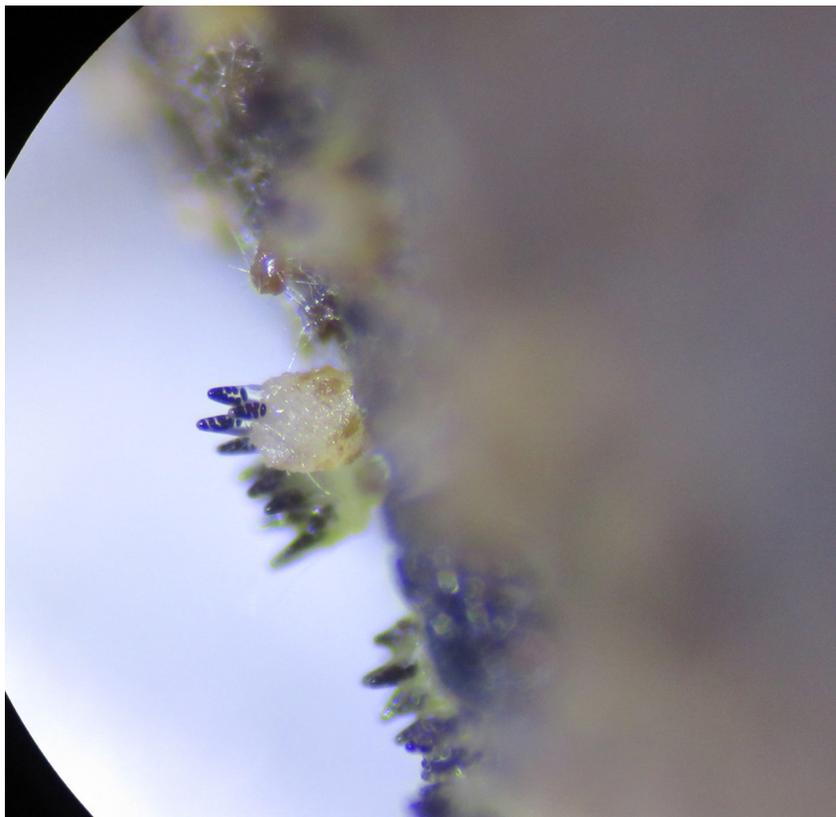


Figura 1. Apotecio de *Ascobolus immersus* Pers.

En el caso de la microbiota mexicana, los estudios fueron realizados por los extranjeros Kimbrough et al. (1971), Bezerra y Kimbrough (1975) y Kobayasi (1979), quienes describieron la biodiversidad de las especies en excretas de vaca, caballo, oveja, cabra y conejo. En 1982, Aguirre-Acosta y Ulloa, describieron la sucesión ecológica de estos organismos en excretas de vaca de la alcaldía Xochimilco en la CDMX. Hoy día se conocen para la microbiota nacional 109 especies de ascomicetos fimícolas, ubicados en 24 géneros: *Delitschia* (7 spp.); *Sporormia* (2 spp.); *Sporormiella* (21 spp.); *Rhytidospora* (1 spp.); *Ascobolus* (2 spp.); *Ascodesmis* (1 spp.); *Chelymenia* (2 spp.); *Coprotus* (6 spp.); *Iodophanus* (3 spp.); *Lasiobolus* (4 spp.); *Pseudombrophila* (1 spp.); *Saccobolus* (3 spp.); *Trichophaeopsis* (1 spp.); *Lophotrichus* (1 spp.); *Kernia* (1 spp.); *Arnium* (2 spp.); *Chaetomium* (3 spp.); *Coniochaeta* (1 spp.); *Podospora* (31 spp.); *Sordaria* (1 spp.); *Hypocopa* (5 spp.); *Podosordaria* (5 spp.); *Poronia* (4 spp.) y *Xylaria* (1 spp.). Sin embargo, aún son pocos los estudios realizados y no reflejan la riqueza total de especies que alberga el territorio nacional y mucho menos la gran variedad de compuestos químicos que pudieran ser de aprovechamiento biotecnológico.

3 METABOLITOS ESPECIALES EN HONGOS



El metabolismo especial, anteriormente llamado secundario, da lugar a compuestos de especial interés por presentar actividad biológica. Los hongos coprófilos pueden producir estas moléculas por dos mecanismos, la vía extra-organismo que se da por ruta fermentativa, mediante enzimas que son liberadas al medio y también intra-organismo en donde el hongo sintetiza pigmentos, mucilaginosos y demás compuestos a través de rutas metabólicas que suceden en el interior de las células (Alves, 2025). En este sentido se tratarán los principales grupos de moléculas que se han descrito hasta el momento de estos organismos.

4

METABOLITOS PARA EL COMBATE DE MICROORGANISMOS

Los hongos que se desarrollan en las excretas se encuentran sometidos a fenómenos de competencia con otros microorganismos que colonizan este tipo de sustratos, es por ello, que han desarrollado mecanismos para mantener a raya a bacterias, algas, protozoarios y otros hongos (Wang y Kuzyakov, 2024).

El hongo, para obtener los nutrientes, produce enzimas que libera al medio con la finalidad de romper las macromoléculas y así producir monosacáridos, aminoácidos y bases nitrogenadas. Estos nutrientes quedan en el medio y son fácilmente “robados” por las bacterias y otros microorganismos, para evitar esto los hongos producen compuestos que impiden el desarrollo de las bacterias y que se ha observado en investigaciones de laboratorio que son moléculas prometedoras para combatir bacterias patógenas para el ser humano. Esto recientemente cobra importancia por el aumento en la resistencia a los antibióticos, que, según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud del 2024, causan aproximadamente 4.95 millones de muertes anuales. Las bacterias patógenas se han convertido en superbacterias, que resisten el ataque de los antibióticos modernos, lo cual también ocurre con los hongos patógenos y los virus como sucedió en la reciente pandemia de COVID-19 (Soldevila et al. 2023).

En este sentido se han aislado moléculas muy diversas estructuralmente, por mencionar algunas, policétidos, polifenoles, péptidos, terpenoides y esteroides, es interesante destacar que estas moléculas actúan bajo distintos mecanismos. Por ejemplo, la flutimida fue aislada de *Delitschia confertasporea* es un antiviral de tipo piperazina que impide la duplicación de los virus y la pos-

terior infección de las células. Dichas moléculas han mostrado ser prometedora en el tratamiento de enfermedades causadas por virus respiratorios, siguiendo con los compuestos antivirales. Se ha descrito que a partir de *Stilbella aciculosa* se ha obtenido ácido fúxico que ha resultado prometedor en la inhibición del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) (Bills et al. 2013).

Por otra parte, se han encontrado moléculas con actividad antibacteriana, tal es el caso de las esporovexinas, aisladas de *Sporormiella vexans* (Soman et al. 1999); pseudodestruixinas de *Nigrosabulum globosum* (Che et al. 2001); aranosinas de *Pseudoarachniotus roseus* (Fehlhaber et al. 1988); bombardolidas de *Bombardioidea anartia* (Hein et al. 2001); anserinonas de *Podospora anserina* (Wang et al. 1997) y comunioles de *Podospora communis* (Che et al. 2005).

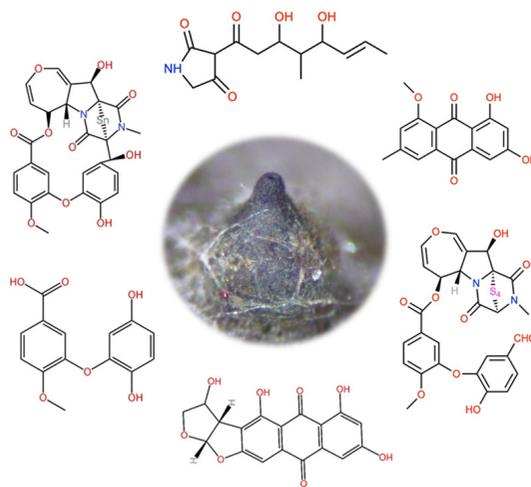


Figura 2. Metabolitos que se han aislado de hongos de la familia Podosporaceae. Fotografía de *Podospora communis* en estiércol de vaca. 1. Preapiodioneno 2. 1-O-metilemodina 3. Secoemestrina C 4. 13-hidroxi-versicolorina B 5. Ácido violacéico 6. Emestrina (Bills et al. 2013)

El mayor número de moléculas reportadas para hongos han demostrado tener actividad antifúngica, muchos de los mecanismos de acción aún son desconocidos. Se sabe, por ejemplo, que la molécula australifungina aislada del hongo *Sporormiella australis*, inhibe la síntesis de ceramidas, necesarias para la producción de la pared celular del micelio. Otro mecanismo conocido es el del ácido zaragózico B obtenido de *Sporormiella intermedia*, que inhibe la biosíntesis del escualeno, un esteroide importante en la estructura de la pared de las células fúngicas. Diversos géneros de hongos producen compuestos antifúngicos, por mencionar algunos *Ascodesmis*, *Sporormiella*, *Polytolypa*, *Stilbella*, *Petriella*, *Coniochaeta*, *Cercophora*, *Podospora*, *Podosordaria* y *Apiosordaria* (Bills et al. 2013)

5

METABOLITOS EN LA LUCHA CONTRA EL CÁNCER Y TUMORES MALIGNOS

El aumento en los casos de tumores malignos en los últimos años es preocupante, los casos se incrementan gracias a la contaminación por metales pesados, disolventes y humo. En México, según datos del INEGI, durante el año 2022, el 10.6% de las defunciones se debió a casos de cáncer, esto hace que la búsqueda de nuevas moléculas para combatir las células cancerígenas sea una prioridad. En este sentido los hongos coprófilos han demostrado ser productores

de algunos compuestos con actividad frente a líneas células de cáncer de mama, induciendo la muerte por apoptosis. Esta actividad se ha descrito de *Omychophora coprophila*, la molécula responsable es el diterpenoide afidicolina (Fisher et al. 1984). Además de esto, se han descubierto moléculas con actividad citotóxica, es decir, que impiden la reproducción celular, tal es el caso de la tulasneina, aislada de *Posodordaria tulasnei* (Ridderbusch et al. 2004).



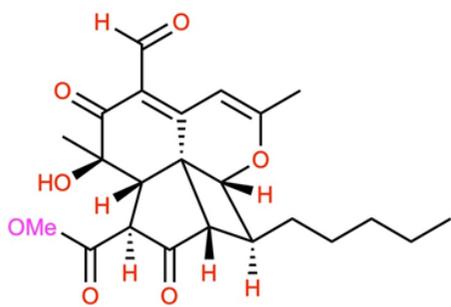
6

METABOLITOS ÚTILES EN LA INDUSTRIA COSMÉTICA

Los ascomicetos producen pigmentos que pueden ser aprovechados por la industria cosmética en la formulación de lápiz labial, sombras, rubores, delineadores, etc. Todos los hongos pertenecientes a las clases Dothideomycetes y Sordariomycetes, producen melaninas que son pigmentos oscuros de color marrón a negro, formados por largas cadenas de polifenoles (El-Naggar y Saber 2022). Estas moléculas se han descrito actividades biológicas que pueden ser aprovechadas por la industria cosmética, pues han demostrado ser protectores frente a la radiación ultravioleta del sol y de elementos radioactivos como el uranio. Además son an-

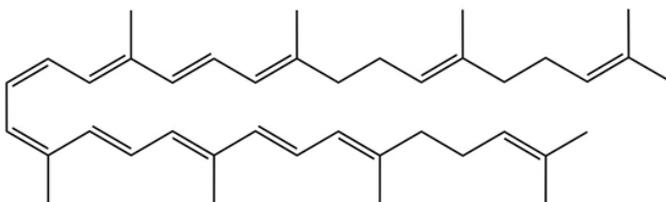
tioxidantes y antibacterianos, que dentro de las formulaciones cosméticas ayudan a prevenir el envejecimiento y son bioabsorbentes, atrapando metales pesados (El-Naggar y Saber 2022).

Aparte de las melaninas se han descrito otros pigmentos como los carotenoides del género *Iodophanus* (Valadón et al. 1980), que generan tonalidades que van del amarillo al anaranjado o las azafilonas producidas por los géneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Monascus* y *Coniella*, entre otros, que generan coloraciones rojizas a violáceas (Yu et al. 2019).



Azafilonas

Pigmentos
Rojo púrpura



Carotenoides

Pigmentos
Anaranjados

Figura 3. Pigmentos aislados de ascomicetos coprófilos del grupo azafilona y carotenoide. (Valadon et al. 1980; Yu et al. 2019)

CULTIVO DE ASCOMICETOS PARA LA OBTENCIÓN DE METABOLITOS

Los ascomicetos fimícolas en su estado natural son escasos con poca biomasa para la extracción de los metabolitos, investigación o aplicación biotecnológica. Por ello se requiere de medios de cultivo que permitan obtener de forma pura al organismo de interés y a partir de ahí obtener los metabolitos. Los medios que han generado los mejores resultados se muestran en la Tabla 1.

El cultivo de estos hongos se vuelve un tanto complicado por los mecanismos de activación de esporas que han desarrollado en la vida silvestre. Sin embargo, el cambio de pH necesario para la germinación y desarrollo del micelio, se puede simular en condiciones de laboratorio mediante el uso de disoluciones de hidróxido de sodio, los mejores resultados se obtienen con un pretratamiento con solución acuosa de hidróxido de sodio 0.1 al 0.3%, cada especie tiene sus propios requerimientos, así las especies de *Ascobolus* y *Coprotus* se desarrollan mejor con pretratamientos con concentración de 0.3% (Dokmetzian et al. 2005). En contraste con *Iodophanus* que requiere solución al 0.1% e incluso algunas especies de este género no requieren pretratamiento alcalino (Cinto y Dokmetzian 2006).



Medio de cultivo

Composición

Referencia

Medio estiércol tindalizado	Estiércol esterilizado colocado sobre papel filtro estéril	Cinto y Dokmetzian 2006; Dokmetzian et al. 2005
Medio glucosa-asparagina	0.5 g de sulfato de magnesio, 0.5 g de fosfato monobásico de potasio, 0.6 g de fosfato monoácido de potasio, 0.4 mg de sulfato cúprico, 0.09 mg de cloruro de manganeso, 0.07 mg de ácido bórico, 0.02 mg de molibdato de sodio, 1 mg de cloruro férrico, 10 mg de cloruro de zinc, 5 µg de biotina, 0.1 mg de clorhidrato de tiamina, 7.5 g de glucosa, 1 g de L-asparagina, 18 g de agar, aforado a un litro con agua destilada	Cinto y Dokmetzian 2006; Dokmetzian et al. 2005
Medio papel de filtro	3 g de extracto de levadura, 18 g de agar, aforado a un litro de agua destilada	Cinto y Dokmetzian 2006; Dokmetzian et al. 2005
Medio agar-agua	18 g de agar en un litro de agua	Cinto y Dokmetzian 2006; Dokmetzian et al. 2005
Medio carboximetilcelulosa (CMC)	2 g de nitrito de sodio, 0.5 g de fosfato monoácido de potasio, 0.2 g de sulfato de magnesio, 0.02 g de cloruro de calcio, 0.02 g de sulfato de manganeso, 0.02 g de sulfato ferroso, 15 g de agar, 5 g de CMC, aforar a un litro con agua destilada	Cinto y Dokmetzian 2006
Medio extracto de malta	12.5 g de extracto de malta, 10 g de glucosa, 20 g de agar, aforar a un litro con agua destilada	Cinto y Dokmetzian 2006

Tabla 1. Composición de los medios de cultivo útiles para el desarrollo de micelio y ascomas de especies coprófilas de ascomicetos.

8

EL FUTURO DE LOS ASCOMICETOS COPRÓFILOS MEXICANOS

El estudio de los hongos coprófilos ha demostrado un gran beneficio a la humanidad para mejorar la salud. Se necesitan investigaciones que involucren la descripción de especies endémicas del país, la caracterización y elucidación estructural de los metabolitos producidos en el sustrato y en los ascomas, la actividad biológica sobre diversas cepas patógenas de hongos filamentosos, levaduras, bacterias, virus, líneas celulares cancerosas, etc. Así como los posteriores estudios de biodisponibilidad, preclínicos y clínicos, brindará futuros medicamentos en el mercado.

Sin embargo, el proceso de la investigación que involucra los ámbitos básico y aplicado, es largo, requiere al menos 10 años de arduo trabajo de laboratorio en colaboración con el sector industrial y clínico. ¡Aún nos falta mucho camino que recorrer!



Figura 4. Apotecio de *Ascobolus michaudii* Boud.

9

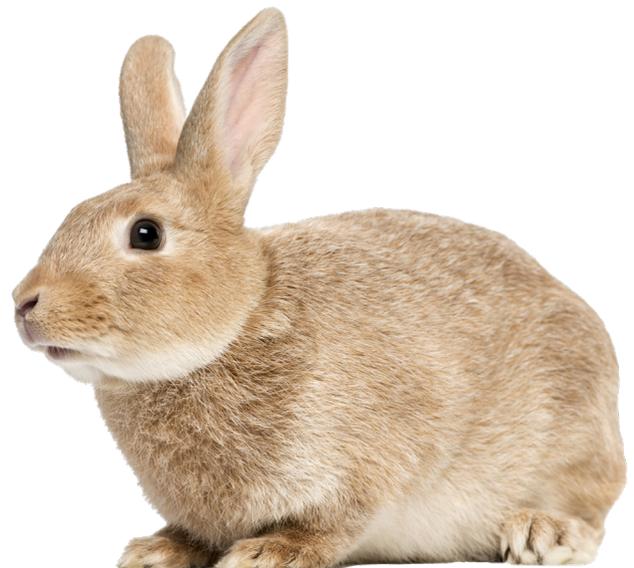
CONCLUSIONES

Los ascomicetos coprófilos son fuente prometedora de moléculas bioactivas para el combate de enfermedades actuales como el cáncer, VIH (SIDA) y la resistencia a los antibióticos. Los compuestos químicos aislados han demostrado tener actividad antiviral, antifúngica, antibacteriana, citotóxica y antitumoral. Las técnicas de cultivo permitirán desarrollar procesos industriales para la producción en masa de los metabolitos, sin embargo, es un campo poco explorado en México y se requiere de investigadores expertos que aporten el conocimiento de los compuestos con potencial utilidad aislados de especies mexicanas.

10

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional (SIP) el apoyo otorgado para la realización de las investigaciones con hongos en los proyectos SIP 20251037, SIP 20251281 y SIP 20251282. Se agradece a la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del I.P.N. las facilidades para realizar las exploraciones de campo. Alvarez-Córtes agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada para realizar sus estudios de Maestría. Raymundo, Morales-Barrera, Valenzuela y Zepeda-Vallejo agradecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) el apoyo a sus investigaciones.



REFERENCIAS

- Aguirre-Acosta E, Ulloa M (1982) Primer registro en México sobre la sucesión de hongos en el estiércol de vaca. *Bol Soc Mex Micol* 2:76-88.
- Alves V, Zamith-Miranda D, Frases S, Nosanchuk JD (2025) Fungal Metabolomics: A Comprehensive Approach to Understanding Pathogenesis in Humans and Identifying Potential Therapeutics. *JoF* 11:93.
- Bezerra JL, Kimbrough JW (1975) The genus *Lasiobolus* (Pezizales, Ascomycetes). *Can J Bot* 53:1206-1229.
- Bills GF, Gloer JB, An Z (2013) Coprophilous fungi: antibiotic discovery and functions in an underexplored arena of microbial defensive mutualism. *Curr Opin Microbiol* 16:549-565.
- Che Y, Swenson DC, Gloer JB, Koster B, Malloch D (2001) Pseudodestruixins A and B: new cyclic depsipeptides from the coprophilous fungus *Nigrosabulum globosum*. *J Nat Prod* 64:555-558.
- Che Y, Araujo AR, Gloer JB, Scott JA, Malloch D (2005) Communiols E-H: new polyketide metabolites from the coprophilous fungus *Podospira communis*. *J Nat Prod* 68:435-438
- Cimmino A, Sarrocco S, Masi M, Diqattro S, Evidente M, Vannacci G, Evidente A (2016) Fusaproliferin, terpestacin and their derivatives display variable allelopathic activity against some ascomycetous fungi. *Chem Biodivers* 13:1593-1600.
- Cinto I, Dokmetzian D (2006) *Iodophanus granulipolaris* (Ascomycota-Pezizales): primera cita para la Argentina. Un estudio morfológico y fisiológico. *Hickenia* 3 62:277-284.
- Dokmetzian D, Ramos A, Cinto I, Suárez ME, Ranalli M (2005) Seis especies del género *Coprotus* (Pyronemataceae) de Argentina estudiadas en cultivo. *Hickenia* 3 57:243-252.
- El-Naggar NEA, Saber WI (2022) Natural melanin: current trends, and future approaches, with especial reference to microbial source. *Polymers* 14:1339-1360.
- Fehlhaber HW, Kogler H, Mukhopadhyay T, Vijayakumar EKS, Ganguli BN (1988) Structure of aranorosin, a new antibiotic of a novel skeletal type. *J Am Chem Soc*, 110:8242-8244.
- Fisher PJ, Anson AE, Webster J, Noble HM, Evans JR (1984) *Onychophora coprophila* a new fungus producing aphidicolin. *Trans Br Mycol Soc* 83:149-154.
- Hein SM, Gloer JB, Koster B, Malloch D (2001) Bombardolides: new antifungal and antibacterial γ -lactones from the coprophilous fungus *Bombardioidea anartia*. *J Antibiot* 64:809-812.
- INEGI (2024) Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP_CANCER24.pdf
- Kimbrough WJ, Luck-Allen ER, Cain RF (1971) North America species of *Coprotus* (Thelebolaceae: Pezizales). *Can J Bot* 50:957-971.
- Kobayasi Y (1979) Mycological survey of Mexican volcano Popocatepetl (2). *J Jpn Bot* 54:86-94.
- Ojwach J, Kumar A, Mutanda T, Mukaratirwa S (2020) Fructosyltransferase and inulinase production by indigenous coprophilous fungi for the biocatalytic conversion of sucrose and inulin into oligosaccharides. *Biocatal Agr Biotech* 30:1-9.
- OMS (2024) Los líderes mundiales se comprometen a tomar medidas decisivas contra la resistencia a los antimicrobianos. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/26-09-2024-world-leaders-commit-to-decisive-action-on-antimicrobial-resistance>
- Richardson M (2019) Coprophilous ascomycetes. *Ascomycete.Org* 11: 205-209.
- Richardson M, Watling R (1996) Key to Fungi on dung. *British Mycological Society*. 68 pp.
- Ridderbusch DC, Weber RWS, Anke T, Sterner O (2004) Tulasnein and podospirone from the coprophilous xylariaceous fungus *Podosordaria tulasnei*. *J Biosci*, 59:379-383.
- Soldevila L, Valerio LL, Roure S, Vallés X, Martínez-Arias A, López-Muñoz I, Pérez-Quílez O (2023) La invasión silenciosa de las superbacterias: una amenaza global. *Enf Emerg* 2:20-29.
- Soman AG, Gloer JB, Koster B, Malloch D (1999) Sporovexins A-C and a new preussomerin analog: antibacterial and antifungal metabolites from the coprophilous fungus *Sporormiella vexans*. *J Nat Prod* 62:659-661.
- Ulloa M, Hanlin RT (2006) Nuevo diccionario ilustrado de Micología. APS Press. 615 pp.
- Valadon LRG, Mummery RS, Van Eijk GW, Roeymans HJ, Britton G (1980) Taxonomic implications of the carotenoids of *Iodophanus carneus*. *Trans Brit Mycol Soc* 74:187-190.
- Wang H, Gloer KB, Gloer JB, Scott JA, Malloch D (1997) Anserinones A and B: new antifungal and antibacterial benzoquinones from the coprophilous fungus *Podospira anserina*. *J Nat Prod* 60:629-631.
- Wang C, Kuzyakov Y (2024) Soil organic matter priming: The pH effects. *Glob Chang Biol* 30(6):e17349.
- Yu H, Sperlich J, Höfert SP, Janiak C, Teusch N, Stuhldreier F, Wesselborg S, Wang C, Kassack MU, Dai H, Liu Z, Proksch P (2019) Azaphilone pigments and macrodiolides from the coprophilous fungus *Coniella fragariae*. *Fitoterapia* 137:1042-1049.

