

Potencial biotecnológico de los hongos

Amairani Reyna, Libni A. Castrejón Noguérón, Jorge Luis Folch Mallol y María del Rayo Sánchez Carbente

Resumen: Los hongos se encuentran entre los seres vivos más numerosos en la Tierra, y además de sus usos conocidos en la gastronomía, medicina o expresiones culturales, constituyen un mundo abierto de posibilidades biotecnológicas. Los aún escasos estudios referentes a especies microscópicas, particularmente las que toleran entornos extremos, resultan relevantes para comprender las adaptaciones que les permiten sobrevivir en una diversidad de ambientes, incluyendo los más inhóspitos en cuanto a frío, calor, salinidad, acidez y contaminación. Además, sus aplicaciones potenciales se ligan a diversos rubros industriales y medicinales, mostrando que el reino Fungi nunca dejará de sorprendernos.

Palabras clave: nanotecnología, micotecnología, reino Fungi, hongos microscópicos, proteínas anfipáticas.

Maayat'aan (maya): U k'a'abetkunsal kuuxum wáaj hongos ti' biotecnología

Kóom ts'íibil meyaj: Le kuuxumo'ob wáaj hongo'ob ti' yaano'ob ichil le ba'alo'ob jach ya'ab kuxa'ano'ob yóok'olkaab, ts'o'oke' ma' chéen k'ajola'an ku k'a'ana'ankunsa'al ti' meyaj janal, ti' ts'aak wáaj tu jeel bix suukil u k'a'abetkunsal, bey xan seen ya'ab ba'alo'ob ku béeytal u meyajta'al yéetel biotecnología. Ma' ya'ab xak'almeyajo'ob yaan yóok'olal le ch'í'ibal mejen yik'elo'ob wáaj microscópica'ob, je'elbix le ma' neetso'obo', u xo'okolo'obe' ku yáantik k k'ajóoltik bix u meetiko'ob ti'al u kuxtalob ich talamilo'ob yaan bak'pachtiko'ob, je'ex kúuchilo'ob tu'ux ma' chéen ch'a'abil kuxtali' tumen jach ke'el, wáaj táaj ooxol, ch'óoch', su'uts' yéetel jach éek'. Bey xan, bix u seen k'a'ana'ankunta'ale' yaan u yil yéetel u meyajil industrial yéetel ts'aakil, leti' e'esik le kuuxumo'ob wáaj reino Fungio' bixbik'iin u p'atik u meentik u ja'ak'al k óol.

Áantaj t'aano'ob: nanotecnología, micotecnología, reino Fungi, kuuxum microscópico'ob, proteínas anfipáticas.

Bats'i k'op (tsotsil): Yipal sju'elal yuyetik

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Ep ta chop yuyetik kuxajtik ta Banamile, ojtikinbil ma'uk no'ox xu' ta xich' tunesel ta ve'lil, ta poxil, ta k'usik yan xtun ta talel kuxlejajil, stak' tunesel yipal xch'uch'ulal kuxajtik sventa sjelel stalelal, xch'iesel, slekubtasel vomoletik chonbolometik. Jutuk to no'ox chanbil ojtikinbil jchop bik'tal tajek yuyetike, ja' li jchop sna' xch'i ta osilaltik bu jutuk no'ox oy kuxlejale, jech-o xal ach' sk'oplal ta sna'el smelolal k'uxi ta xnop ta xch'i ta jeltos osilaltike, jech k'ucha'al ta sik, ta k'ixin osil, ta yats'milal banamil nabetik, xchi'uk ta osilaltik sokem ta sk'a'epal li jch'ieletike. Jech no'ox xtok, li yipal sju'elale te nitil ta spasel smeltsanel jeltos epal poxiletik xchi'uk yantik, skotol bik'tal yuyetike ta xak' ta ilel ti staoj yip ta jtojolaltike.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: nanotecnología, micotecnología, ep ta chop skotol unin bik'tal tajek yuyetik, unin bik'tal tajek yuyetik, proteínas anfipáticas.

Cuando llega la temporada de lluvias, los hongos brotan de la tierra en multitud de formas y colores. Muchos son comestibles, de importancia ritual o de uso en la medicina, y en ellos convergen tradición y cultura relacionadas con su recolección, usos y consumo. Son organismos cosmopolitas, pues se les encuentra prácticamente en todo el mundo, y sobreviven en el suelo, en los troncos de los árboles, en materia orgánica en descomposición y, en general, en medios húmedos. Constituyen uno de los grupos de seres vivos más numerosos en el mundo.

La riqueza fúngica no se restringe a los organismos macroscópicos que apreciamos en la vida cotidiana, sino que se extiende a una vasta distribución de especies microscópicas en distintos hábitats, inclusive en ecosistemas extremos, que van desde desiertos y montañas hasta cuerpos de agua salada, como lagunas y mares. Muchas de estas especies ni siquiera se han descrito, pero es necesario ampliar nuestro conocimiento sobre ellas, pues podrían ser fuente de nuevos agentes terapéuticos o de productos para aplicarse en la nanotecnología.

Distribución todo terreno

En México se calcula que existen cerca de 200 mil especies de hongos, y de acuerdo

con el libro *México: tierra de hongos*, de Cecilia Ofir López Sánchez (Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, 2022), 320 son de interés gastronómico, lo que refuerza su importancia cultural. Como dato interesante, los chinantecos, un pueblo originario de Oaxaca con un rico conocimiento etnocológico, tienen en su lengua alrededor de 27 nombres ligados a unas 36 especies de uso local, y 70 vocablos relacionados con los hongos, según documentan el especialista Alexanders López-García y sus colaboradores en algunas investigaciones. Se trata de nombres compuestos que incluyen elementos descriptivos, con los que incluso diferencian a organismos similares, como en el caso de *Laccaria laccata* var. *pallidifolia*, "hongo pata de pájaro", y *Laccaria nobilis*, "hongo pata de guajolote". Esta comparación es importante porque muestra la relación entre la diversidad fúngica y el conocimiento que de ella tienen gran parte de los pueblos originarios.

Es de suponer que en diversas regiones del mundo los vínculos entre los seres humanos y los hongos son milenarios, considerando la diversidad y posibilidades de aprovechamiento de estos organismos, cuyas adaptaciones fisiológicas les han dado la capacidad para sobrevivir con los nu-



Laguna salada de Baja California.

trientes disponibles en su entorno, incluso en los lugares más inhóspitos. Por ejemplo, mediante la producción de enzimas pueden degradar sustratos difíciles de digerir, como la biomasa vegetal: madera, hojarasca, bagazo de caña, paja de trigo o de avena. Además, cuentan con mecanismos que les permiten crecer sin importar las condiciones extremas, de forma que los encontramos en suelos con altas concentraciones de sal, contaminados con hidrocarburos o pobres en fósforo.

En las últimas décadas se ha descrito la presencia de hongos microscópicos en lagos ácidos o salados o en sitios con temperaturas elevadas, lo que ha propiciado un gran interés en el aislamiento de nuevas especies que puedan utilizarse con propósitos biotecnológicos novedosos. Estas diminutas criaturas son parte de un gigantesco espectro de posibilidades por su aplicación potencial en la medicina y diversas ramas de la industria.

Micotecnología

Además de su potencial para el futuro, los hongos microscópicos nos acompañan desde tiempos remotos. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es indispensable para fermentar la masa para el pan o distintos tipos de bebida, como la cerveza; mientras que el hongo *Penicillium roqueforti* se emplea en la elaboración del queso Roquefort. Otros, como las micorrizas o los hongos de repisa, se asocian de manera simbiótica o parasitoide con plantas, por lo que resultan indispensables para la salud de los bosques.

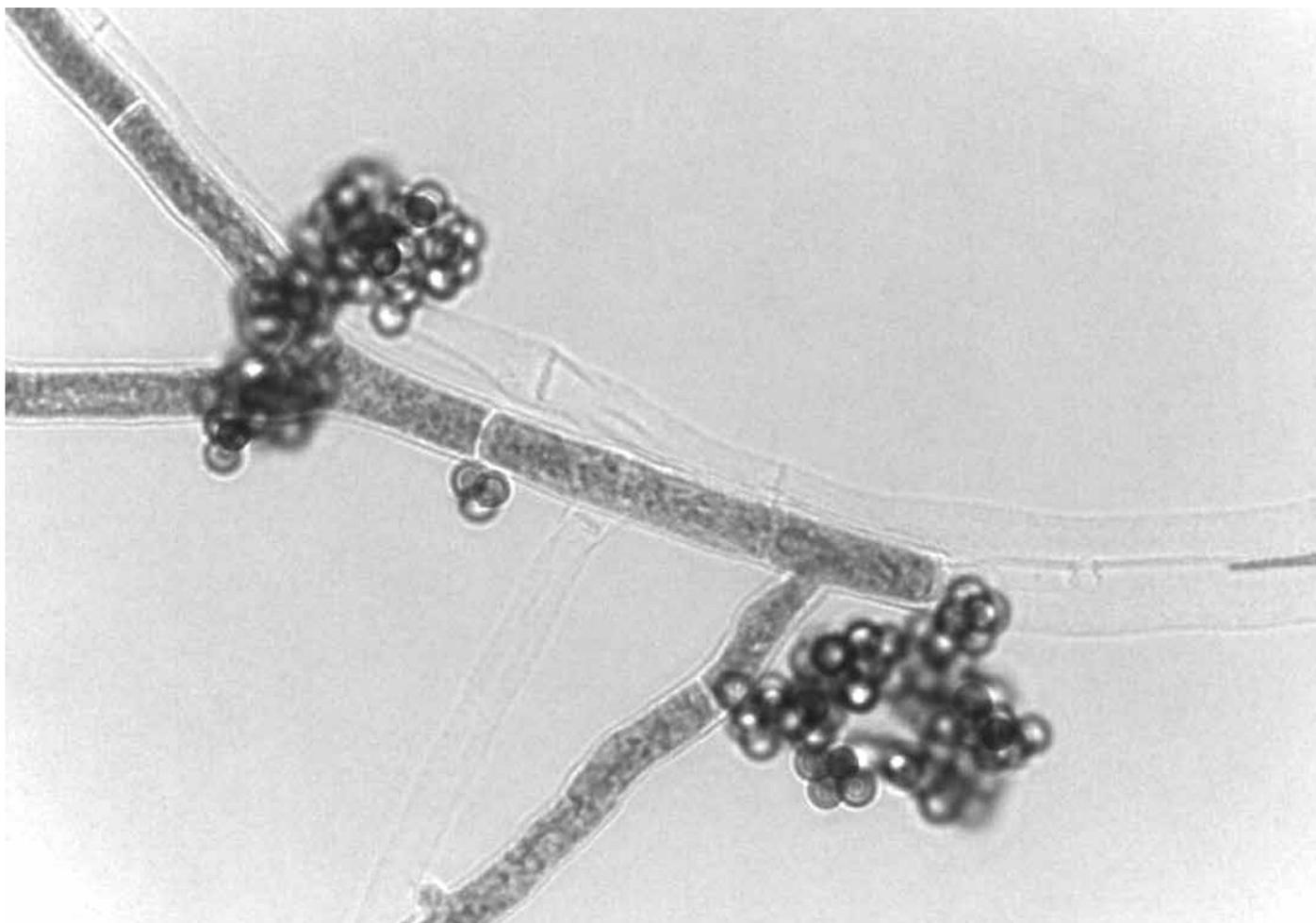
Su uso en la fermentación de vinos, quesos, cerveza y pan —además de su utilidad en la producción de saborizantes, pigmentos y aromas— muestran cómo la industria alimentaria es una de las actividades que más incorpora a los hongos en sus procesos. Sin embargo, hay otras opciones de aprovechamiento. En la medicina se han utilizado en la obtención de antibióti-

cos, cuyos casos más destacados son la penicilina (aislada por Alexander Fleming del hongo *Penicillium notatum*, en 1928) y la cefalosporina (aislada por Giuseppe Brotzu, en 1948, de *Cephalosporium acremonium*). De igual modo, se ha explorado su potencial como generadores de agentes terapéuticos; por ejemplo, la fenilhistina proveniente de *Aspergillus utus* para tratar la diabetes y las enfermedades neurodegenerativas, y otros metabolitos como protectores cardiovasculares y antivirales, como la quetomina proveniente de *Chaetomium cristatumis*, la cual tiene actividad inhibitoria sobre el virus de la estomatitis vesicular.

Recientemente, la búsqueda se ha enfocado en encontrar en los hongos los compuestos llamados metabolitos secundarios para que sean antagonistas del SARS-CoV-2, tales como terpenoides, isocumarinas, xantinas, lectinas y glicoproteínas. Recordemos que los metabolitos secundarios no intervienen en las funciones vitales inmediatas de los organismos, pero sí en su supervivencia a largo plazo. También se han realizado estudios referentes a los polisacáridos de los hongos, y se ha encontrado que algunos reducen la formación de biofilms, es decir, que inhiben la adhesión de microbios en superficies y por tanto ralentizan su crecimiento. Aunque no se ha llegado a fases experimentales avanzadas, el camino ya se ha iniciado.

La lista de beneficios actuales y potenciales de los hongos parece interminable. Pero para seguir con ella, destaca también que su uso ha permitido que vitaminas como la B1 y B2 se hayan escalado a nivel industrial. Y qué decir de los avances en la agroindustria, donde han funcionado como bioplaguicidas para reducir el impacto ambiental, ya que no generan los





Micrografía de un conidióforo, que es una estructura que aloja a las conidias, unas esporas mediante las que se logra la reproducción asexual de diversas especies de hongos.

residuos contaminantes de los plaguicidas convencionales. Son promotores del crecimiento vegetal y favorecen la resistencia de las plantas contra condiciones desfavorables para su desarrollo, como los cambios abruptos en la temperatura o la escasez de agua. Así, en un estudio encabezado en 2020 por Irán Tapia-Vázquez, doctora en Ciencias Naturales, se demostró que las levaduras del género *Rhodotorula* y *Naganishia* (aisladas del volcán Nevado de Toluca) promueven la germinación de semillas de chile de la variedad guajillo y confieren resistencia a las plantas ante tratamientos que simulan las condiciones de una helada.

Hay más investigaciones que pueden alcanzar una trascendencia mayúscula. En las últimas décadas, por dar una muestra, se han explorado las cualidades de los hongos filamentosos del género *Aspergillus* y de levaduras como *Rhodotorula*, en cuanto

a su capacidad como agentes para la biorremediación de ambientes contaminados con hidrocarburos (hidrocarbonoclastas) en sitios expuestos a derrames de petróleo y sus derivados; se ha demostrado que algunos de estos hongos han degradado hasta un 90% de los contaminantes en 21 días. Sin duda, es un resultado asombroso.

Proteínas fúngicas

Una investigación que se encuentra en progreso con un gran potencial biotecnológico se relaciona con que los hongos filamentosos producen proteínas anfipáticas (es decir, una parte de la molécula es hidrofílica y otra hidrofóbica), las cuales se han utilizado como compuestos de recubrimiento. ¿Qué significa esto? Normalmente con la exposición al agua, al sol, al aire o a distintos tipos de sales, muchos tipos de materiales se deterioran, de modo que se ha

buscado cómo aumentar su durabilidad y tiempo de vida útil. Tal necesidad ha motivado el desarrollo de los recubrimientos con polímeros o moléculas como protección ante los factores físicos, y justamente los hongos son funcionales en esto.

Una de sus peculiaridades es que cuentan con una capa protectora hidrofílica-hidrofóbica que cubre su pared celular y les ayuda a emerger de la tierra, venciendo la tensión superficial. Esa capa está formada por unas proteínas llamadas hidrofobinas, las cuales forman películas que permiten a los hongos crecer en la interfase agua y aire (límite entre el agua y el aire), además de parasitar o infectar a otros organismos. Dada la estabilidad de las películas formadas por dichas proteínas, se explora su aplicación en materiales para el recubrimiento de superficies con fuerte exposición a factores ambientales, tales como electrodos o mate-

riales electroactivos, con el fin de protegerlos de la oxidación, o bien, utilizar estas películas para generar superficies con propiedades similares al teflón. En la industria textil se han aprovechado para recubrir algodón o poliamida, e incluso se ha logrado revestir piedras con ellas, lo cual podría tener impacto en la conservación de edificios de valor histórico.

Otra aplicación potencial de estas proteínas fúngicas aterriza en la nanotecnología (manejo de materia a escala atómica o molecular). Se podrían utilizar en la elaboración de nanodispositivos (objetos minúsculos de aplicación en medicina, electrónica u otras ramas), implantes médicos o como biosurfactantes; en cuanto a este último concepto que no es sencillo de explicar, basta decir que tiene aplicaciones muy prácticas, como la elaboración de jabones. Así que los hongos no son solo importantes para la alimentación, sino que su versatilidad para crecer en diferentes ambientes es una fuente importante para la exploración de productos con variados usos industriales.

Aplicaciones a la luz de las ciencias ómicas

Las llamadas ciencias ómicas se refieren a varias disciplinas con las que es posible analizar a gran escala y con soporte tecnológico de última generación, moléculas como el ADN, ARN y proteínas, entre otras. La interacción entre estas disciplinas permite una mejor comprensión de los sistemas biológicos.

En tal sentido, la genómica o estudio de la estructura y función del genoma, y la proteómica o el estudio del conjunto de proteínas presentes en una célula o en un compartimento celular, entre otras ómicas, nos han llevado a integrar los conocimientos de la biología básica, lo que en muchos casos deriva en la generación de diversas aplicaciones biotecnológicas como las que se han mencionado antes, ya que conocer el genoma o información genética de un organismo nos permite incidir en mejorar la fabricación de productos que son de interés industrial o médico. Por ejemplo, el hongo *Aspergillus niger* no solo ha sido modificado genéticamente para producir ácido cítrico, cuyo uso en alimentos y bebidas es frecuente, sino que además se ha editado el genoma de diversos hongos, incluidos los comestibles como el champiñón (*Agaricus bisporus*), en los que la modificación evita su oscurecimiento.

Otro ejemplo lo encontramos en la metabolómica, que se refiere al estudio de los compuestos producidos por las células, particularmente las fúngicas; esos compuestos pueden presentar propiedades terapéuticas, como la penicilina y otros ejemplos mencionados en las secciones anteriores. En conclusión, aún hay una brecha sin explorar en el tema del aprovechamiento de los hongos, tanto de los que consumimos de manera cotidiana como de aquellos que pasan desapercibidos por ser microscópicos; su potencial es inimaginable. 

Bibliografía:

- Aguirre-Acosta, C. E. (2021). *Uso de hongos en la industria, vital para la economía mundial*. México: DGCS-UNAM. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_904.html
- Cao, L., Zhang, Q., Miao, R. *et al.* (2023). Application of omics technology in the research on edible fungi. *Current Research in Food Science*, (6), 100430. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.100430>
- Hashem, A. H., Attia, M. S., Kandil, E. K. *et al.* (2023). Bioactive compounds and biomedical applications of endophytic fungi: a recent review. *Microbial Cell Factories*, 22(art. 107). <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02118-x>

Amairani Reyna es estudiante del Doctorado en Ciencias Naturales en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | amairani.Reyna@outlook.com

Libni A. Castrejón Noguez es estudiante de Biología en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | libni11tag@gmail.com

Jorge Luis Folch Mallol es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | jordi@uaem.mx | <https://orcid.org/0000-0002-1860-8175>

María del Rayo Sánchez Carbente es profesora investigadora de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | maria.sanchez@uaem.mx | <https://orcid.org/0000-0001-9586-3033>