



ALLIANCE™

(<https://www.globalseafood.org>).



**Responsible
Seafood**
ADVOCATE



Aquafeeds

Aplicación de los hongos y sus metabolitos secundarios en la acuicultura

18 November 2024

By Dr. Abigail John Onomu and Dr. Grace Emily Okuthe

Una revisión muestra muchos beneficios potenciales de los hongos para la acuicultura, pero sus aplicaciones aún son en su mayoría experimentales



Esta revisión de las aplicaciones de los hongos y sus metabolitos secundarios en la acuicultura muestra muchos beneficios potenciales de los hongos para la acuicultura, incluida la mejora del crecimiento, la resistencia a las enfermedades, el uso de ingredientes vegetales y otros, pero sus aplicaciones aún son en su mayoría experimentales y se necesita más investigación para aprovechar este potencial. Foto del moho *Aspergillus niger* de Alexander Klepnev (CC BY 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, a través de Wikimedia Commons).

Los hongos son organismos unicelulares o multicelulares/filamentosos del reino Fungi. Son organismos eucariotas (organismos cuyas células tienen el núcleo unido a una membrana) y heterótrofos (organismos que no pueden producir su propio alimento, sino que obtienen nutrición de otras fuentes de carbono orgánico, principalmente materia vegetal o animal). Los hongos se han utilizado para producir una amplia gama de **productos industriales** (<https://doi.org/10.1002/9781119374312.ch1>), como bebidas y alimentos fermentados, aditivos alimentarios, pigmentos, biocombustibles, enzimas, antibióticos, vitaminas, ácidos grasos y esteroides. Los hongos son microorganismos importantes con el potencial de mejorar la sostenibilidad de la acuicultura.

Los beneficios potenciales de los hongos son numerosos, incluida la mejora de la productividad y una práctica más eficiente, sostenible y ambiental que contribuye a mejorar la sostenibilidad de la acuicultura. Sin embargo, estos beneficios deben organizarse en la literatura para crear conciencia y promover el conocimiento para su adopción. Esto se debe a que la investigación ha revelado que el potencial de los hongos no se ha utilizado/explotado adecuadamente en la práctica acuícola debido a varios factores.

Este artículo – **resumido** (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) de la **publicación original** (<https://doi.org/10.3390/jof10100711>). (Onomu, A.J. and G.E. Okuthe. 2024. The application of fungi and their secondary metabolites in aquaculture) – analiza las posibles aplicaciones de los hongos en

la acuicultura y las limitaciones asociadas con su utilización.

Fuente de antibióticos, probióticos y prebióticos

Los hongos producen una variedad de sustancias bioactivas, como antibióticos, enzimas y metabolitos secundarios, que pueden obstaculizar el crecimiento de bacterias, virus y hongos patógenos. Los hongos, como *Penicillium* y *Aspergillus* sp., producen penicilina y otros antibióticos con actividad antibacteriana de amplio espectro. Un hongo aislado de esponjas exhibió actividad antibacteriana contra *Vibrio harveyi* y *V. alginolyticus*, y de manera similar, los metabolitos de hongos de un alga roja marina tienen compuestos antibacterianos que inhiben bacterias patógenas como *Aeromonas salmonicida*, *V. anguillarum*, *V. harveyi* y *Yersinia ruckeri*.



(<https://link.chtbl.com/aquapod>).

Los hongos también funcionan como probióticos/prebióticos cuando se suplementan en las dietas, mejorando el crecimiento, la eficiencia alimentaria, los parámetros inmunológicos y hematológicos y la resistencia a las enfermedades contra los patógenos. Según se informa, el mejor crecimiento, supervivencia y FCR que muestran las dietas alimentadas con camarones que contienen metabolitos de hongos se deben a los fitoquímicos (beta-glucanos y polifenoles) contenidos en los metabolitos, que actúan como inmunoestimulantes y antioxidantes.

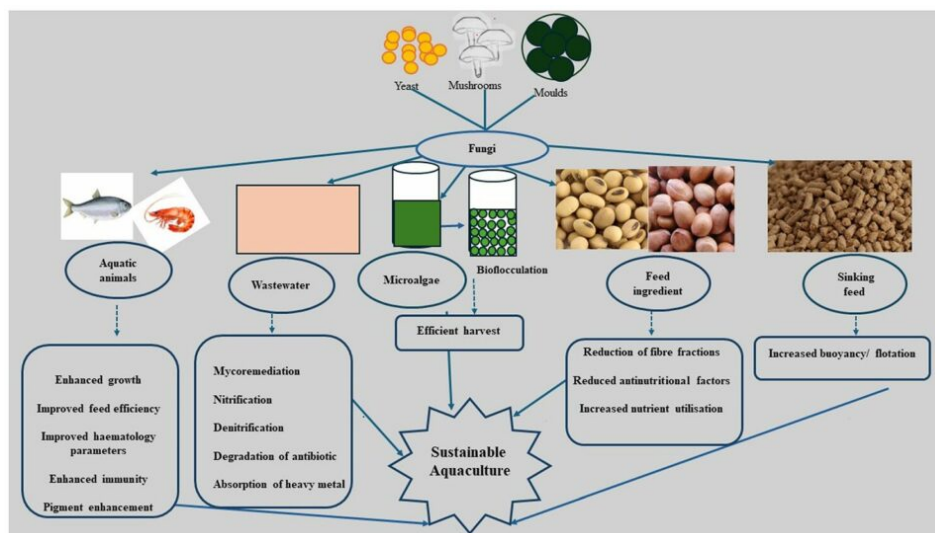


Fig. 1: Las posibles aplicaciones de los hongos en la acuicultura.

La suplementación con hongos en las dietas también desempeña funciones inmunoestimulantes en los animales acuáticos, lo que da como resultado una mejor inmunidad y parámetros hematológicos, que son buenos indicadores de salud. Varios estudios han demostrado que el camarón blanco del Pacífico alimentado con dietas suplementadas con hongos tenía una inmunidad más alta en comparación con los alimentados con dietas sin suplementos. Se informó que los peces alimentados

con dietas de hongos tenían una mayor carga de células de hongos en el intestino que los que no los tenían. Sin embargo, esto se vio influenciado por la concentración de hongos en el alimento, de modo que la carga de hongos aumenta con el aumento del contenido de hongos en el alimento.

Reducción de factores antinutricionales y fracciones de fibra en ingredientes vegetales

El uso de fuentes de proteínas alternativas, como las proteínas de plantas terrestres para la producción de alimentos acuícolas, se promueve con el fin de reducir la dependencia de la harina de pescado y aumentar la sostenibilidad de la acuicultura. Sin embargo, los antinutrientes vegetales (sustancias que interfieren directa o indirectamente en la utilización de los alimentos y afectan negativamente a la salud y la productividad de los animales) presentes de forma natural en las proteínas vegetales terrestres son un factor limitante para su uso. Los antinutrientes son sustancias que, directa o indirectamente (a través de sustancias metabólicas producidas en organismos vivos), interfieren en la utilización de los alimentos y afectan negativamente a la salud y la productividad de los animales.

El uso de hongos en el procesamiento de productos de plantas terrestres reduce los factores antinutricionales en las plantas terrestres, lo que las hace más adecuadas para su uso en la producción de alimentos acuícolas con hongos incorporados principalmente como agentes de fermentación. Por ejemplo, la fermentación natural de la harina de soja redujo el contenido de tripsina en un 63,85 por ciento, pero la fermentación con la levadura *S. cerevisiae* y *A. niger* redujo el contenido de tripsina en un 92,47 y 94 por ciento, respectivamente.

Mayor disponibilidad de nutrientes en los alimentos

La fermentación de los ingredientes de los alimentos para la acuicultura y de los alimentos con hongos aumenta el contenido de nutrientes, como las proteínas y los aminoácidos, mejorando así los alimentos acuícolas. Por ejemplo, la fermentación de la torta de aceite de maní (GNC) utilizando *A. niger* condujo a un aumento de aproximadamente el 21 por ciento en el contenido de proteínas, y la fermentación con *A. niger* también mejoró el contenido de proteínas y extracto de éter de la colza. Se ha demostrado que varios hongos aumentan el contenido de proteína cruda de la harina de colza, la harina de soya (SBM), la harina de algas y la harina de macrófitos tras la fermentación. La torta de aceite de maní fermentada con *A. niger* también aumentó el contenido de aminoácidos esenciales. El contenido de metionina y lisina del GNC fermentado aumentó un 50 por ciento en comparación con el GNC sin fermentar. De manera similar, la histidina, el triptófano y la treonina aumentaron alrededor de un 20 por ciento tras la fermentación con *A. niger*.

La reducción de grasa en los pellets de alimentos acuícolas por parte de *Rhizopus* sp. se ha atribuido a su producción de enzimas lipasas durante la fermentación. La fermentación con hongos parece ser más eficiente para mejorar la composición de nutrientes de los ingredientes del alimento que la fermentación con bacterias. Por ejemplo, la fermentación de polvo de sargazo con *A. niger*, *S. cerevisiae* y *Lactobacillus* spp. aumentó el contenido de proteína del polvo de sargazo y redujo el contenido de lípidos y carbohidratos, a diferencia del control (polvo de sargazo sin fermentar).

Las enzimas fitasas obtenidas de hongos también se pueden utilizar para mejorar la disponibilidad de algunos minerales y se han empleado para mejorar la retención de minerales en la dieta de los animales acuáticos. Por ejemplo, los bagres de canal alimentados con dietas que contenían fitasa tenían una concentración significativamente mayor de manganeso, cenizas, calcio y fósforo depositados en los huesos que los peces sin suplementos de fitasa. La concentración de fitasa también influyó en la deposición de estos minerales en los huesos de los peces.



Las aplicaciones, beneficios y desafíos del uso de quitinasa en alimentos acuícolas

Esta revisión analiza cómo la quitinasa puede mejorar la digestibilidad del alimento, el control de enfermedades y la sostenibilidad en la acuicultura.



Global Seafood Alliance

Mayor utilización de minerales y menor cantidad de nutrientes en los efluentes

El fósforo es uno de los minerales esenciales necesarios para el crecimiento de los animales acuáticos y se encuentra de forma natural en los ingredientes de los alimentos de origen vegetal como ácido fítico y constituye aproximadamente el 80 por ciento del fósforo total en los ingredientes vegetales. Los animales acuáticos, especialmente los peces, no pueden utilizar el ácido fítico de estos ingredientes vegetales porque la mayoría de los animales acuáticos carecen o tienen cantidades bajas de la enzima fitasa necesaria. La deficiencia de fósforo y los niveles subóptimos de fósforo en la dieta de los animales acuáticos dan como resultado un crecimiento reducido, deformidades, mineralización ósea deficiente y reducción de la inmunidad, lo que requiere la suplementación de fósforo en la formulación de los alimentos.

Las enzimas fitasas se pueden producir a partir de plantas, bacterias y hongos. La limitación en la producción de enzimas fitasas a partir de plantas es que los métodos de síntesis son ineficientes, requieren mucho tiempo y son costosos. La fitasa fúngica, uno de los metabolitos producidos por los hongos, es más deseable que la fitasa bacteriana debido a su termoestabilidad y efectos quitinosos más significativos. Una ventaja de usar fitasa de origen fúngico en la acuicultura es que reduce la carga de fósforo en el agua y, por lo tanto, en el medio ambiente en comparación con el fósforo inorgánico, que podría filtrarse a la columna de agua desde el alimento. La fitasa fúngica debe

aplicarse mediante pulverización sobre las dietas formuladas después de la extrusión, ya que la temperatura afecta su eficacia y puede no soportar la temperatura de producción y extrusión del alimento.

Los hongos como agentes de flotabilidad en los alimentos acuícolas

Los alimentos acuícolas fabricados se clasifican en alimentos flotantes (extruidos) y alimentos que se hunden (no extruidos), según los hábitos alimentarios de las especies de cultivo de destino. Los alimentos flotantes, que se utilizan normalmente para las especies de peces, se fabrican por extrusión y son hidrófobos, lo que los hace muy estables en el agua. Sin embargo, son caros, ya que se requiere una gran inversión en su producción. Aunque los alimentos que se hunden son más baratos en comparación con sus homólogos flotantes, llegan fácilmente al fondo del sistema de cultivo y pueden resultar derrochadores y contaminantes según la especie y el manejo de los alimentos utilizado.

Los hongos tienen la capacidad de mejorar la flotabilidad del alimento para peces sin necesidad de extrusión física, a través de la fermentación en fase sólida. La flotación del alimento fermentado por hongos se atribuye al micelio superficial del hongo (red de hifas, el principal modo de crecimiento vegetativo, que es similar al algodón y blanquecino), lo que evita la penetración de agua en los espacios porosos del pellet. Por ejemplo, se utilizan *Rhizopus* sp. y levadura para aumentar la flotación del alimento. Además, se ha fermentado un alimento comercial que se hunde utilizando *Rhizopus* sp. y el alimento fermentado tuvo una mayor estabilidad y flotabilidad en comparación con el alimento que se hunde.

Varias especies de *Rhizopus* son hongos ampliamente distribuidos con varias aplicaciones potenciales en la acuicultura. Foto de *Rhizopus stolonifera* de Len Worthington (lennyworthington) en Mushroom Observer, una fuente de imágenes micológicas (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, a través de Wikimedia Commons).

Además de la flotabilidad, la estabilidad del alimento es importante en la acuicultura. La capacidad de los hongos para crecer en un sustrato de origen orgánico y también para unir las partículas del sustrato los hace adecuados para su uso como aglutinantes biológicos en la fabricación de alimentos para la acuicultura. El efecto aglutinante que logran los hongos en los alimentos acuícolas se atribuye a que las hifas de los hongos penetran completamente en los pellets, llenando los espacios en el pellet y entrelazando los ingredientes del alimento. Los diversos estudios disponibles sobre la levadura han demostrado que es un buen agente de flotación y no un aglutinante. El alimento fermentado es una alternativa al alimento que se hunde y se puede aplicar en la producción a pequeña escala donde no se dispone de alimento extruido o donde los productores producen su alimento utilizando ingredientes disponibles localmente.

Pigmentos

El color y la apariencia externa de los animales cultivados desempeñan un papel importante en el atractivo, el valor, la demanda y la aceptación de un producto. Las fuentes de carotenoides y pigmentos para los peces pueden ser sintéticas o naturales. Las fuentes naturales de pigmentos incluyen verduras y frutas como la remolacha roja, la zanahoria, el quimbombó, el repollo y los tomates. Los pigmentos sintéticos se caracterizan generalmente por su alto costo y otras preocupaciones, y estas limitaciones han llevado a un enfoque en pigmentos no tóxicos de fuentes naturales. Sin embargo, los pigmentos de fuentes naturales, como las plantas, están limitados por su disponibilidad limitada, cosecha irregular, uso de la tierra, intensidad de mano de obra y disponibilidad estacional.

Los hongos filamentosos (especialmente los hongos basidiomicetos y los hongos ascomicetos y líquenes) y la levadura producen una amplia gama de pigmentos secretados como metabolitos secundarios. Se producen como una reacción a condiciones ambientales desfavorables, como temperaturas altas o bajas y exposición excesiva o prolongada a la luz y estrés, como la exposición a disponibilidad limitada o insuficiente de nutrientes. Una ventaja de los pigmentos producidos por hongos sobre los pigmentos de otras fuentes naturales es que los primeros no hacen uso de tierras agrícolas destinadas a la producción de alimentos.

Neurospora spp. se encuentra entre los hongos generalmente reconocidos como seguros (GRAS), ya que no se sabe que produzcan micotoxinas. Una ventaja de *Neurospora* spp. como hongo productor de pigmentos es que se puede cultivar en una variedad de sustratos, incluidos residuos industriales y lignocelulosa. Algunos pigmentos derivados de hongos ya se comercializan, por ejemplo, los pigmentos de cantaxantina y ankaflavina producidos a partir de *Monascus* sp. y un pigmento rojo comercial se produce a partir de *Penicillium oxalicum*.

Biorremediación

Se han utilizado diversas opciones de biorremediación, como la acuicultura multitrófica integrada (IMTA) y la acuaponía, para reducir la carga de nutrientes de los efluentes de la acuicultura. La biorremediación con bacterias es bien conocida; sin embargo, la micorremediación, que es el uso de hongos en la biorremediación, también es eficiente y prometedora. Las especies de hongos pueden descomponer/degradar o modificar sustancias orgánicas/tóxicas en una forma menos tóxica. Prosperan incluso en entornos donde la biorremediación bacteriana está inhibida, como aquellos con niveles bajos de pH. El mecanismo detrás de la micorremediación es que la biomasa fúngica/hifas fúngicas, para satisfacer sus necesidades nutricionales y energéticas, produce bioflocs o perlas que capturan, absorben y degradan partículas en suspensión.

Los hongos se han utilizado para la nitrificación y la desnitrificación y se sabe que exhiben una mayor capacidad de desnitrificación que las bacterias. Los hongos se han explorado para la biorremediación en varias industrias, por ejemplo, para reducir los niveles de antibióticos como la oxitetraciclina y la ciprofloxacina en las aguas residuales. Los hongos también se han utilizado para degradar numerosos medicamentos, incluidos antidepresivos, antiinflamatorios y medicamentos contra el cáncer en la industria farmacéutica.

Los hongos también pueden absorber metales pesados presentes en las aguas residuales, a través de su pared celular o de su limo polisacárido extracelular. Los hongos, especialmente los basidiomicetos, son buenos descomponedores que secretan enzimas extracelulares como la peroxidasa de manganeso, la lacasa y las peroxidases de lignina. Se sabe que los polisacáridos derivados de los hongos reducen la toxicidad de los metales pesados.

Fermentación de subproductos de pescado y cáscaras de cítricos para su uso en alimentos acuícolas



Los investigadores buscan transformar los subproductos en suplementos para alimentos acuícolas ricos en microorganismos saludables y con alto contenido de proteínas.



Global Seafood Alliance

Biofloculación

Varios hongos filamentosos, como *A. niger*, *A. oryzae* y otros, son biofloculantes potenciales y son útiles en la cosecha de microalgas. El mecanismo a través del cual se logra la floculación mediante un biofloculante podría ser mediante barrido, puenteo y neutralización de carga. En la aplicación de hongos para la cosecha de microalgas, se utilizan esporas o pellets de hongos. La cosecha asistida por esporas de hongos implica el cocultivo de las esporas de hongos y las microalgas. Sin embargo, para la cosecha asistida por pellets de hongos, se cultiva el pellet y se agregan pellets activos al medio que contiene las microalgas.

Limitaciones en el uso de hongos

La aplicación de hongos tiene varios beneficios; Sin embargo, su uso tiene, sin duda, algunas limitaciones. La eficacia de los hongos para reducir las fracciones de fibra y mejorar la disponibilidad de nutrientes está influida por la duración de la fermentación y la dosis administrada, que pueden variar según los ingredientes de los alimentos, lo que dificulta la aplicación de hongos a la mayoría de los acuicultores. Por lo tanto, se debe investigar la dosis y la duración de la fermentación más eficaces para cada ingrediente del alimento. La mayoría de los estudios sobre la aplicación de hongos en dietas acuáticas se realizaron in vitro o a escala piloto en condiciones controladas. Por esto, los resultados pueden diferir en las condiciones reales de cultivo al aire libre.

Algunos hongos (*A. niger* y *A. oryzae*) se consideran generalmente seguros y se han utilizado para la producción de alimentos durante mucho tiempo. Sin embargo, la principal limitación para el uso de hongos es la presencia de varias micotoxinas. Los efectos de las micotoxinas en los animales acuáticos incluyen pérdida de peso, baja tasa de conversión alimenticia, deterioro del sistema inmunológico y alta susceptibilidad a las enfermedades. Las micotoxinas son cancerígenas para los humanos; sus efectos en los humanos incluyen inhibición de la síntesis de proteínas, incapacidad para producir energía y estrés oxidativo. Los avances genéticos pueden ayudar a abordar las micotoxinas en los hongos y se han utilizado para desactivar algunos genes de micotoxinas en hongos.

Perspectivas

Los hongos se han utilizado y explorado ampliamente en las industrias alimentaria, química y farmacéutica. En el caso de la acuicultura, la aplicación de los hongos todavía se encuentra en la etapa de experimentación y apenas se ha explorado y adoptado, pero esta revisión de la literatura muestra que los hongos pueden brindar diversos beneficios a muchos aspectos de la acuicultura, incluida la mejora del crecimiento, el aumento de la resistencia a las enfermedades y el aumento de la utilización de nutrientes, lo que resulta en una reducción de nutrientes en los efluentes de la acuicultura.

Los hongos también se aplican para mejorar los nutrientes de los ingredientes de los alimentos y reducir los antinutrientes y la proteína vegetal fibrosa, lo que los hace más adecuados para su uso en la producción de alimentos para la acuicultura. Los hongos pueden aumentar la digestión de la proteína vegetal, la flotabilidad de los alimentos y, por lo tanto, la flotación de los alimentos acuícolas, y pueden actuar como alternativas a los pigmentos sintéticos. En general, los hongos tienen mucho potencial para ser de considerable beneficio para la sostenibilidad y la productividad acuícola.

Authors



DR. ABIGAIL JOHN ONOMU

Corresponding author

Department of Biological & Environmental Sciences, Walter Sisulu University, Mthatha 5117, South Africa

abigailjohn90@gmail.com (<mailto:abigailjohn90@gmail.com>).



DR. GRACE EMILY OKUTHE

Department of Biological & Environmental Sciences, Walter Sisulu University, Mthatha 5117, South Africa

Copyright © 2024 Global Seafood Alliance

All rights reserved.