

Aspergillus niger,

¿un microorganismo **destructor** o creador?

Maria Fernanda Vargas
Torrico, Erich von Borries
Medrano, Guadalupe
Stefanny Aguilar Moreno,
Rocio Alejandra Mata
Villanueva

Introducción

En 1729, un sacerdote-micólogo florentino, describió por primera vez el género *Aspergillus*. Le dio ese nombre porque las características de la estructura portadora de esporas del género se parecían a un *Aspergillum*, dispositivo utilizado por la iglesia católica para rociar agua bendita. *Aspergillus* es un género con alrededor de 837 especies, y son conocidas como los hongos más abundantes en el mundo junto con *Fusarium spp.* y *Penicillium spp.*

El *Aspergillus* es un microorganismo saprófito; es decir, necesita de otro organismo para crecer y alimentarse. Este hongo se encuentra en el medio, y crece especialmente en ambientes con baja humedad, aunque puede crecer en distintos ambientes y, por tanto, es un hongo agresivo que causa deterioro acelerado en cultivos pre y poscosecha. Las especies más conocidas de este hongo son *A. niger*, *A. flavus*, *A. terreus* y *A. fumigatus*.

Aspergillus poseen una estructura filamentosa formada por cadenas de células llamadas hifas, donde sobresalen extremidades conocidas como conidióforos y una cabeza localizada en el extremo de cada conidióforo conformada por una vesícula, fiálides y conidios (Figura 1). Sus conidios se producen en cantidades elevadas; se reporta que una colonia puede producir hasta mil millones de esporas por m² (Figura 2). La germinación de las esporas está influenciada por sus características y por las condiciones ambientales, como la luz, el pH, el dióxido de carbono, el agua y los nutrientes disponibles. No obstante, en un estudio reciente se demostró que el *A. clavatus* y *A. nidulans* pueden germinar en agua purificada; es decir, estas especies no necesitan nutrientes para iniciar su germinación (Ijadpanahsaravi & Wösten, 2024).

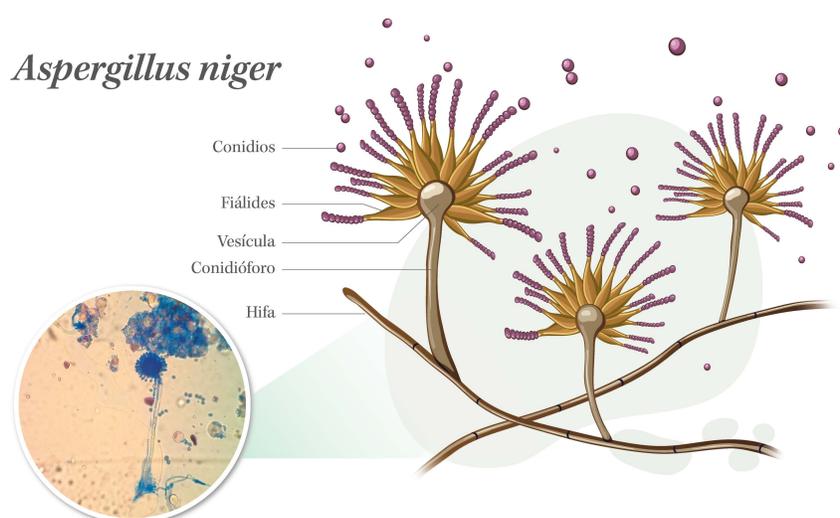


Figura 1. Microestructura de *Aspergillus niger* observada mediante microscopía óptica. Cepas aisladas de frutos de fresa en estado de descomposición en el Laboratorio de Microbiología del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma de Chapingo.

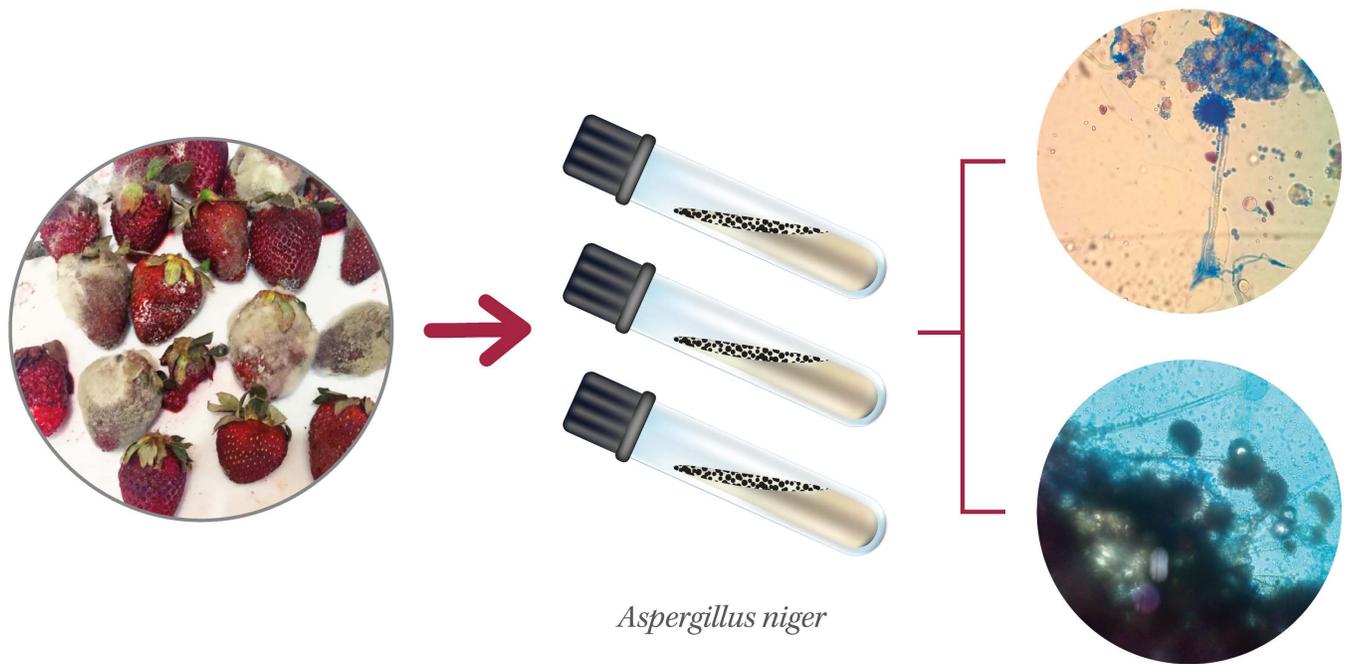


Figura 2. Cepas de *Aspergillus niger* aisladas de fresas en estado de deterioro antes de ser utilizadas para la producción de ácido cítrico.

Las especies de *Aspergillus* producen importantes micotoxinas, en particular aflatoxinas, que son compuestos tóxicos -generados principalmente por *A. flavus*, *A. ochraceus*, *A. carbonarius* y *A. niger* (aunque este último es de mucha menor importancia). En grandes cantidades, estos pueden provocar enfermedades en humanos, como la ***aspergilosis invasiva***: enfermedad muy grave y potencialmente mortal, especialmente en pacientes inmunocomprometidos; las esporas del *Aspergillus* se alojan en los pulmones ocasionando obstrucción pulmonar, acompañado de fiebre y malestar. Este tipo de enfermedades se detectan mediante análisis de medio de cultivo y se tratan con antifúngicos. La presencia de micotoxinas en un alimento indica que, en alguna etapa de la producción o procesamiento, las condiciones fueron favorables para el crecimiento de un hongo; es decir, es un alimento contaminado que debe ser desechado. De ahí la importancia de la correcta desinfección de alimentos, específicamente de frutas y hortalizas, antes de su consumo.

Existen alimentos como el cacahuate, almendras, pistachos, nueces, avellanas, café, cacao, higos secos, semillas y granos en general que son fácilmente susceptibles a la infección por *Aspergillus*, lo cual puede provocar la presencia de micotoxinas, aflatoxinas y ocratoxina A. Estos alimentos pueden causar intoxicación alimentaria dependiendo de la cantidad de consumo, por lo que se deben desechar. Una manera de detectar alimentos con infecciones fúngicas es observar la presencia de telarañas algodonosas blancas y verdes, puntos negros y olor a humedad (Taniwaki *et al.*, 2018).

Por otro lado, el *Aspergillus* es considerado un sistema de expresión de proteínas y enzimas para la industria alimentaria y farmacéutica. Se puede aprovechar en una gama amplia de materiales de biomasa de rápida producción. Algunas especies, como *A. nidulans*, *A. niger* y *A. oryzae*, son reconocidas como seguras por la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA, por sus siglas en inglés), y cumplen con los requisitos de seguridad humana para la producción industrial. *A. oryzae* y *A. sojae* se utilizan en la fermentación para producir salsa de soja y miso. Además, *A. niger* y *A. oryzae* se utilizan ampliamente como fábricas de células para la producción de enzimas, como las amilasas, y moléculas pequeñas, como el ácido cítrico, que se utilizan en la producción de alimentos.

***Aspergillus niger* destructor de cultivos y otros materiales**

A. niger es un hongo fitopatógeno que provoca la enfermedad del “moho negro” en plantas y productos hortofrutícolas en estado de pre y poscosecha. La manera en la cual se genera la enfermedad implica el debilitamiento del hospedante (planta o alimento) mediante la absorción continua de nutrientes de sus células por parte del patógeno para su propio beneficio. Además, el metabolismo del hospedante se ve alterado por la secreción de toxinas y micotoxinas, así como por el bloqueo del desarrollo de nutrientes, minerales y agua a través de los tejidos.

La forma de propagación del *A. niger* se lleva a cabo a través de la inoculación (proceso por el cual un fitopatógeno y un hospedante entran en contacto). Una de las formas más comunes de inoculación de *A. niger* es a través de heridas y de aberturas naturales. Este hongo se puede reproducir a través de la hibernación del micelio en los tejidos infectados o como esporas en la superficie infectada. *A. niger* suele infectar cosechas de semillas en sus hojas y frutos rojos, atacando directamente la carnosidad del fruto. Este tipo de hongo actúa en condiciones de baja humedad, donde no hay agua libre disponible (Agrios & Guzmán-Ortíz, 1985)

Las infecciones por *A. niger* generan un impacto negativo en distintos sectores debido a su alto poder de biodeterioro (definido como cualquier cambio no deseado en las propiedades de un material causado por la actividad de organismos vitales). En una revisión bibliográfica reciente señalan que las esporas del *Aspergillus*, en especial del *A. niger*, pueden provocar biodeterioro en materiales de madera, papel, pinturas, textiles, audiovisuales y vidrios. Las especies de *Aspergillus* son productoras de muchas enzimas extracelulares dirigidas a diferentes sustratos, como celulasas que hidrolizan la celulosa (degradación del papel), amilasas que hidrolizan la amilasa (descomposición del almidón), proteasas que hidrolizan proteínas (descomposición del cuero), pectinasas que catalizan la hidrólisis de sustancias pécticas, ligninasas que hidrolizan la lignina (deterioro de la madera), quitinasas que degradan polímeros de N-acetilglucosamina (quitina), entre muchas otras (Romero *et al.*, 2021).

El proceso higiénico-sanitario utilizado comúnmente en alimentos es la desinfección con hipocloritos o desinfectantes clorados, amonios cuaternarios, alcoholes y glutaraldehídos. Para materiales inertes, el tratamiento antifúngico convencional consiste en la eliminación mecánica de los cuerpos fúngicos, la desinfección con fungicidas y la eliminación de las decoloraciones de los objetos. En los últimos años, los investigadores han desarrollado métodos de limpieza y desinfección selectivos y menos invasivos, tanto para alimentos como para otros materiales. Entre estas técnicas se pueden mencionar la irradiación UV, microondas, tratamientos con altas y bajas temperaturas, campos electromagnéticos y tratamientos osmóticos. Asimismo, se ha explorado la combinación de estas técnicas con nanotecnología para encapsular compuestos antimicrobianos, como los aceites esenciales, extractos naturales, nitamicina, lactoperoxidasa, carbendazima, plata, cobre, dióxido de titanio u óxido de zinc, los cuales presentan características biocidas (Nguyen-Van Long *et al.*, 2016). De igual manera, se pueden mencionar investigaciones recientes sobre la capacidad antifúngica de recubrimientos poliméricos, que han demostrado una alta eficacia para desacelerar el crecimiento de *A. niger* en fresas mediante la aplicación de extractos naturales obtenidos de residuos de aguacate y coco (Vargas-Torrico *et al.*, 2022).

Algunas enfermedades, como la del “moho negro”, se pueden controlar casi por completo mediante cualquiera de los métodos mencionados, lo cual puede reducir significativamente las pérdidas financieras en el sector agrícola.

***Aspergillus niger* creador y productor**

A. niger es uno de los microorganismos más importantes en la biotecnología, ya que desempeña un papel importante en el ciclo global del carbono. Con el tiempo, los biotecnólogos han convertido a *A. niger* en una fábrica de células multiuso para la producción de enzimas extracelulares y como principal productor de ácido cítrico, ácido glucónico, ácido málico, ácido oxálico, ácido itacónico, ácido kójico, proteínas secretadas, y enzimas como glucoamilasa, galactosidasa y fitasa, entre otras.

La producción de ácido cítrico con *A. niger*, como modelo de fermentación cítrica, utiliza nutrientes como glucosa, nitrato de amonio, fosfato mono potásico y sulfato de magnesio, alcanzando un volumen de producción de millones de toneladas anuales (Figura 3). Las características típicas del proceso de fermentación sumergida en líquido con *Aspergillus* incluyen una compleja relación entre el entorno de fermentación, el crecimiento micelial, las propiedades reológicas y la síntesis del producto.

La ruta más utilizada para la obtención de productos, especialmente con *A. niger*, es la fermentación cíclica con productos altos en glucosa como fuente de carbono. Los factores que influyen en el proceso son la composición del medio de cultivo (principalmente el contenido de carbono y nitrógeno), pH, temperatura, tiempos de incubación, oxígeno, cepa, especie, tamaños de inóculo y número de núcleos miceliales (de Caldas-Felipe *et al.*, 2023).

Productos obtenidos mediante *Aspergillus*

Más de 58 especies de *Aspergillus* producen ácido kójico, que es utilizado como anti-fúngico, y como analgésico, antiinflamatorio y antidiabético en la industria farmacéutica, así como iluminador de la piel en la industria cosmética. Entre los principales productores están el *A. flavus*, *A. oryzae* y *A. terreus*.

Algunas especies de *Aspergillus*, en especial *A. niger*, *A. oryzae* y *A. melleus*, producen enzimas comerciales y farmacéuticas, como aminopeptidasa, alfa-amilasa, arabinofuranosidasa, asparaginasa, carboxipeptidasa (tipo serina), catalasa, celulasa, beta-glucanasa, glucosa oxidasa aminoacilasa, AMP desaminasa y proteasa (Li *et al.*, 2022). Asimismo, Orfali *et al.* (2021) mencionan que el *A. niger* produce fonsecina y aurasperona B (compuestos más potentes que el ácido ascórbico).

Las cepas marinas de *Aspergillus* producen metabolitos secundarios, incluidos ácidos grasos, policéticos, esteroides, alcaloides, terpenos y péptidos, los cuales presentan actividades antioxidantes, anticancerígenas e insecticidas, entre otras (Orfali *et al.*, 2021).

Algunas especies de *Aspergillus* producen terpenoides, incluyendo un total de 107 sesquiterpenos como drimanes, bisabolanos, cadinanos, humulanos, protoiludanos y otros. Los terpenoides de origen fúngico presentan propiedades antibacterianas y anticancerígenas, ocupando un importante espacio a nivel biológico en la industria farmacéutica (Zhao *et al.*, 2022).

De este modo, el género *Aspergillus* representa una fuente natural para la producción de fitofármacos y fitoquímicos, con un gran potencial en la medicina y la industria alimentaria debido a su prometedora actividad biológica.



Figura 3. Cepas de *Aspergillus niger* con frutas como fuente de carbono para la producción de ácido cítrico comercial a nivel laboratorio.

Conclusiones

En esta revisión se destacan las características principales del género *Aspergillus*, con especial atención en *Aspergillus niger*. Este hongo oportunista saprófito es conocido por causar deterioro en alimentos y materiales inertes a través de sus esporas y conidios. Aunque las condiciones ambientales no representan un factor significativo para su crecimiento y desarrollo, bajo condiciones ideales de nutrientes, humedad y temperatura pueden generar la enfermedad del “moho negro”, considerada letal para los alimentos.

En el ámbito de la biotecnología, *A. niger* es valorado por su capacidad para producir una gran variedad de productos seguros y comerciales, como enzimas, proteínas y ácidos orgánicos. Mediante distintas investigaciones se han demostrado las diferentes funcionalidades de este microorganismo. El *Aspergillus* es un género modelo que, respaldado por estudios y análisis específicos, ha expuesto una serie de productos con validez científica. Este es un campo de investigación que lleva años de estudio y grandes avances potenciales en la ciencia.

Referencias

- Agrios, G. N., & Guzmán Ortiz, M. (1985). Fitopatología. Uteha Noriega Editores 1. <http://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/123456789/38600>
- de Caldas-Felipe, M. T., do Nascimento-Barbosa, R., Pereira-Bezerra, J. D., & de Souza-Motta, C. M. (2023). Production of kojic acid by *Aspergillus* species: Trends and applications. *Fungal Biology Reviews*, 45, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100313>
- ljadpanahsaravi, M., & Wösten, H. A. B. (2024). Germination strategies of stress-resistant *Aspergillus* conidia. *Current Opinion in Food Science*, 57, 101169. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101169>
- Li, Q., Lu, J., Zhang, G., Liu, S., Zhou, J., Du, G., & Chen, J. (2022). Recent advances in the development of *Aspergillus* for protein production. *Bioresource Technology*, 348, 126768. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126768>
- Nguyen-Van Long, N., Joly, C., & Dantigny, P. (2016). Active packaging with antifungal activities. *International Journal of Food Microbiology*, 220, 73-90. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.01.001>
- Orfali, R., Aboseada, M. A., Abdel-Wahab, N. M., Hassan, H. M., Perveen, S., Ameen, F., Alturki, E., & Abdelmohsen, U. R. (2021). Recent updates on the bioactive compounds of the marine-derived genus *Aspergillus*. *RSC Advances*, 11(28), 17116-17150. <https://doi.org/10.1039/d1ra01359a>
- Romero, S. M., Giudicessi, S. L., & Vitale, R. G. (2021). Is the fungus *Aspergillus* a threat to cultural heritage? *Journal of Cultural Heritage*, 51, 107-124. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.08.002>
- Taniwaki, M. H., Pitt, J. L., & Magan, N. (2018). *Aspergillus* species and mycotoxins: occurrence and importance in major food commodities. *Current Opinion in Food Science*, 23, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.05.008>
- Vargas-Torrico, M. F., von Borries-Medrano, E., Valle-Guadarrama, S., & Aguilar-Méndez, M. A. (2022). Development of gelatin-carboxymethylcellulose coatings incorporated with avocado epicarp and coconut endocarp extracts to control fungal growth in strawberries for shelf-life extension. *CyTA - Journal of Food*, 20(1), 27-38. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.2024607>
- Zhao, W. Y., Yi, J., Chang, Y. B., Sun, C. P., & Ma, X. C. (2022). Recent studies on terpenoids in *Aspergillus* fungi: Chemical diversity, biosynthesis, and bioactivity. *Phytochemistry*, 193, 113011. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2021.113011>
-
- Dra. Maria Fernanda Vargas Torrico.** Profesora e investigadora, cuyas líneas de investigación son: extracciones de residuos orgánicos, recubrimientos antifúngicos, envases activos y envases inteligentes para la conservación de frutas en estado de postcosecha. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada - Unidad Legaria, Instituto Politécnico Nacional. E-mail: fervargast3@gmail.com
- Dr. Erich von Borries Medrano.** Profesor e investigador de tiempo completo y de asignatura en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada - Unidad Legaria, Instituto Politécnico Nacional, cuyas líneas de investigación son: desarrollo de vehículos biopoliméricos, extracciones emergentes, alimentos funcionales y envases inteligentes para la conservación de alimentos. E-mail: evonborries@ipn.mx
- Dra. Guadalupe Stefanny Aguilar Moreno.** Investigadora con énfasis en las siguientes líneas: bioprocesos agroalimentarios, conservación de alimentos, energías renovables y nanomateriales. SECIHTI - Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: stefanny.aguilar.m@gmail.com
- MTA. Rocío Alejandra Mata Villanueva.** Profesora de tiempo completo y de asignatura del Instituto Tecnológico de Milpa Alta, Tecnológico Nacional de México, realiza investigación de extractos de plantas típicas de la alcaldía de Milpa Alta comúnmente conocidas como Estafiate y Tepozan. Instituto Tecnológico de Milpa Alta, Tecnológico Nacional de México. E-mail: rocio.mv@milpaalta.tecnm.mx