



Micotoxinas

en acción: ¿qué esconden los hongos en tu comida?

Dra. Laura Fiorella Cadenillas Sueldo
Laboratorio de Química Agroindustrial(LCA)
Instituto Nacional Politécnico de Toulouse (INP-ENSIACET), Francia
laura.cadenillas.s@mail.com





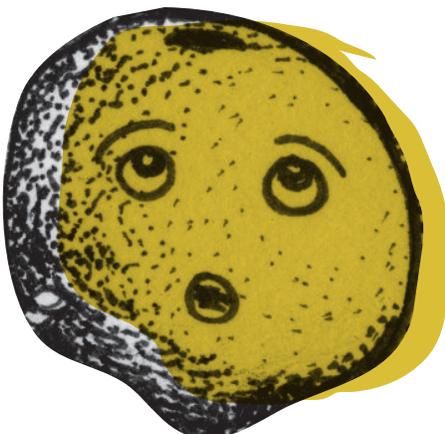
¿Alguna vez te has preguntado qué son esas estructuras verdes algodonosas que crecen en la superficie de la naranja?

Se trata de hongos filamentosos y, en este artículo, te contaré un poco sobre ellos.

Los hongos filamentosos o mohos son organismos microscópicos formados por filamentos largos llamados *hifas*, cuya agrupación se denomina *micelio*. Estos crecen tanto en la superficie como en el interior de casi cualquier sustancia de origen vegetal o animal. Los hongos multicelulares, que se encuentran ampliamente distribuidos en ambientes húmedos, son responsables principalmente de la degradación de la materia orgánica.

Desde la antigüedad, el ser humano ha conocido los hongos presentes en los alimentos, utilizándolos para diversos fines, como el consumo directo, la mejora de productos alimenticios y, especialmente, con propósitos terapéuticos, como la producción de antibióticos. No obstante, el estudio de los hongos como agentes tóxicos no comenzó hasta la década de 1960, tras un episodio de intoxicación masiva que provocó la muerte de 100,000 pavos, lo que se atribuyó a una contaminación por hongos.

El interés por los hongos y las micotoxinas es importante, no solo desde el punto de vista científico, sino también económico. Estos organismos generan múltiples problemas a lo largo de toda la cadena de producción agrícola, tales como la reducción de los rendimientos de las cosechas, el deterioro de la salud y el rendimiento de los animales de granja, la pérdida de calidad de los alimentos, así como de características organolépticas y nutricionales, además de costos extras, asociados a la prevención o descontaminación de los productos y a pérdidas de productos afectados.



Algunas especies fúngicas son capaces de producir metabolitos secundarios tóxicos como parte de su crecimiento, conocidos como micotoxinas, cuya secreción ocurre bajo condiciones ecológicas favorables.



Y ahora, para empezar, debemos preguntarnos: ¿Qué son las micotoxinas?

Las micotoxinas son sustancias tóxicas producidas como metabolitos secundarios por hongos, capaces de causar efectos perjudiciales, tanto en humanos como en animales. Hasta la fecha, se han identificado más de 300 tipos de metabolitos fúngicos tóxicos. Sin embargo, las micotoxinas más relevantes y conocidas incluyen las aflatoxinas (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2), deoxinivalenol (DON), zearalenona (ZEN), ocratoxina A (OTA) y las fumonisinas (FB1, FB2, FB3, entre otras). Estas micotoxinas son metabolitos altamente estables que suelen resistir los procesos de transformación de los alimentos, lo que permite su persistencia en los productos finales. Su estabilidad representa un desafío importante para la seguridad alimentaria, ya que llegan al consumidor a través de productos alimenticios contaminados, con potenciales riesgos para la salud humana y animal.

¿Qué riesgo representan las micotoxinas y en qué alimentos las encontramos?

¿Cuáles son los principales hongos toxigénicos y qué tipo de micotoxinas existen?

Las micotoxinas son producidas principalmente por cinco tipos de géneros de hongos: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps* y *Alternaria*. Ahora bien, hay que tener en cuenta que no todos los hongos son productores de micotoxinas, por lo que un grano de maíz enmohecido no tiene por qué ser necesariamente tóxico. Del mismo modo, puede detectarse una micotoxina sin la presencia del hongo productor, ya que este puede ser inactivado por procesos químicos o por alteración de los factores ambientales mientras las micotoxinas permanecen en el sustrato.

Hasta el momento, se han identificado más de 200 tipos de micotoxinas. Sin embargo, las que se encuentran con mayor frecuencia, como contaminantes naturales en los alimentos para animales o humanos, son las siguientes: aflatoxinas (B1, B2, G1, G2 M1), ocratoxinas, zearalenona, tricotecenas (vomitoxina, T-2, nivalenol, DON), citrinina, patulina y fumosinas (B1 y B2).

El consumo de alimentos contaminados con micotoxinas representa un grave riesgo para la salud humana y animal. Se estima que más de cinco millones de personas están expuestas a las micotoxinas diariamente a través de su alimentación, lo que lleva a graves problemas de salud, dados sus efectos cancerígenos, mutagénicos, hepatotóxicos, nefrotóxicos y genotóxicos. Entre las diferentes micotoxinas, la aflatoxina B1 (AFB1) es considerada la más peligrosa y ha sido clasificada como carcinógeno de Grupo I por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), demostrándose que es responsable de carcinoma hepatocelular en humanos, supresión del crecimiento, modulación del sistema inmune y malnutrición.



En la siguiente tabla se detallan las principales micotoxinas, los productos alimenticios comúnmente contaminados y sus efectos sobre la salud humana y animal. Actualmente, se estima que las micotoxinas contaminan alrededor del 25% de los cultivos cosechados cada año, causando grandes pérdidas económicas en los sectores agrícola e industrial. Estas toxinas se encuentran en diversos alimentos, siendo los cereales y frutos secos los más destacados. Además, dada la naturaleza termofílica de muchos de los hongos toxigénicos y de que su crecimiento se ve favorecido a temperaturas mayores de 27°C, las regiones tropicales parecen enfrentar una mayor densidad de contaminación que las regiones templadas.

Micotoxina	Género/ especie	Principales alimentos	Toxicología
Aflatoxina	<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i> <i>A. nomius</i>	Cereales; maíz; chiles, frutos secos; algodón	Hepatocarcinoma Modulador del sistema inmunológico Mutagénico Teratogénico Supresión del crecimiento
Fumonisina	<i>Fusarium verticillioides</i> <i>F.culmorum</i>	Cereales: maíz, arroz	Edema pulmonar porcino Tumor hepático Nefrotóxico Citotóxico Cáncer de esófago
Ocratoxina	<i>Aspergillus carbonarius</i> <i>A. niger</i> <i>Penicillium nordicum</i> <i>P. verrucosum</i>	Trigo, especias, uvas, café	Nefropatía porcina Genotoxicidad Inmunotoxicidad Embriotoxicidad Inhibidor de la síntesis de proteínas ARN y ADN
Patulina	<i>Penicillium carneum</i> <i>P. clavigerum</i>	Manzana, naranja, uva y productos relacionados	Nefrotoxicidad Inmunotoxicidad Fetotoxicidad
Tricotecenos	<i>Fusarium cephalosporium</i> <i>F. oxysporum</i>	Trigo, avena, maíz	Necrosis y lesión oral en pollos Pérdida de peso Vómitos Hemorragias diarreicas Retraso del crecimiento
Zearelanona	<i>Fusarium graminearum</i> <i>F. culmorum</i>	Cereales: trigo, maíz, avena, arroz, sorgo, cebada	Diarrea Vómitos Disminución del aumento de peso Infertilidad Genotóxicos

Tabla 1: Principales micotoxinas reportadas, alimentos contaminados y efecto sobre la salud humana y animal.



Ninguna parte del mundo puede considerarse libre de micotoxinas

Es fundamental comprender y controlar diferentes factores para prevenir y manejar la contaminación por micotoxinas en productos alimenticios.

¿Cuáles son las condiciones que favorecen su producción?

Las micotoxinas, al ser metabolitos secundarios, están fuertemente influenciadas por factores ambientales que juegan un papel crucial en su producción. Ciertos parámetros afectan, de manera significativa, tanto el crecimiento de especies toxigénicas, como la síntesis de micotoxinas.

Entre los principales parámetros, se encuentran:

Temperatura: la síntesis de micotoxinas es particularmente sensible a las variaciones de temperatura. *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*, organismos termofílicos, prosperan en temperaturas entre 25 y 30 °C mientras que su producción de toxinas se ve inhibida a temperaturas por debajo de los 10 °C y por encima de los 40 °C.

PH: el pH óptimo para el crecimiento de determinados hongos como *A. flavus* es cercano a 5, mientras que la síntesis de aflatoxinas alcanza su pico en un pH de 6. Se ha observado que valores de pH de 6 o inferiores fomentan la producción de aflatoxinas de tipo B, mientras que niveles de pH más altos favorecen la síntesis de aflatoxinas de tipo G.

Además, las micotoxinas mencionadas no se eliminan mediante el procesamiento de alimentos tales como la cocción, el horneado, el tostado o la pasteurización, ya que son estables por naturaleza.

Actividad del agua (aw): la disponibilidad de agua es otro factor crucial. Generalmente se requiere una actividad de agua de al menos 0.85 para producir toxinas, aunque estudios indican que niveles más altos de actividad del agua, por encima de 0.93, promueven una mayor producción de aflatoxinas.



Fuente de carbono: la fuente de carbohidratos influye significativamente en la producción de las micotoxinas, principalmente porque los azúcares promueven la síntesis de las unidades iniciadoras de poliquétidos, como la Acetil-CoA. Se sabe que azúcares simples, como la glucosa, fructosa y sacarosa, son esenciales para el crecimiento de *A. flavus* y *A. parasiticus* y, por lo tanto, cruciales para la producción de toxinas.

La contaminación por micotoxinas puede ocurrir en el campo, antes o durante la cosecha, al igual que durante el almacenamiento y procesamiento de los alimentos. Actualmente existen diversas medidas de prevención como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y las Buenas Prácticas de Almacenamiento (BPA) y de detoxificación que incluyen métodos físicos, químicos y biológicos.

Respecto a las prácticas preventivas, estas tienen como objetivo minimizar el crecimiento y proliferación de hongos toxigénicos, prevenir la contaminación posterior a la cosecha y garantizar la calidad y seguridad de los productos alimenticios.

Estas estrategias suelen incluir el uso de cultivos resistentes a insectos, buenas prácticas de labranza, deshierbe, uso adecuado de fertilizantes, riego y rotación de cultivos. Además, prácticas como el tratamiento del suelo con cal y estiércol, han demostrado ser efectivas para reducir los niveles de contaminación por micotoxinas.

Contenido de oxígeno/dióxido de carbono: las condiciones atmosféricas juegan un papel crucial en el crecimiento de hongos y la producción de metabolitos secundarios. Los hongos filamentosos son organismos estrictamente aerobios, lo que significa que requieren oxígeno para sobrevivir y desarrollarse. Dado que las micotoxinas se producen en condiciones aeróbicas, una disminución en el contenido de oxígeno y un aumento en el CO₂ pueden prevenir la síntesis de estas moléculas.

¿Cómo prevenir la contaminación de los cultivos por micotoxinas?



A continuación, se describen algunos ejemplos:

Rotación de cultivos

Esta es una estrategia crucial para mitigar el desarrollo de hongos patógenos. Los residuos de cultivos actúan como un hábitat ideal para los hongos, debido a los nutrientes que contienen. Si no se practica la rotación, los hongos desarrollados en estos residuos pueden transferirse al siguiente cultivo, aumentando el riesgo de contaminación. En el caso de la aflatoxina, es fundamental evitar la siembra de maíz en años consecutivos en el mismo lugar, a fin de reducir el riesgo de contaminación debido a la presencia de esclerocios en el suelo.

Selección de semillas

La elección de semillas sanas y sin daños, con una adecuada viabilidad, es crucial para asegurar la calidad de los cultivos y reducir la contaminación por hongos. El uso de material de siembra de alta calidad puede contribuir a la prevención de infecciones fúngicas desde el inicio del ciclo de cultivo.

Fecha de siembra

La fecha de siembra es una condición importante que puede afectar el rendimiento del cultivo. Se ha demostrado que una siembra temprana de cereales, como el maíz, en climas templados, puede proteger los cultivos contra el desarrollo de hongos patógenos.

Riego adecuado

La contaminación de los cereales y la acumulación de micotoxinas ocurren principalmente durante periodos de sequía. Un sistema de riego adecuado, que alivie el estrés de las plantas debido a la sequía, puede reducir la tasa de colonización por especies toxigénicas y, por lo tanto, la producción de micotoxinas.

Productos fitosanitarios

Una de las estrategias iniciales para enfrentar la contaminación de diversos cultivos por hongos toxigénicos y micotoxinas consiste en el uso de pesticidas, principalmente durante el desarrollo del cultivo antes de la cosecha. Actualmente, existen diferentes tipos de pesticidas utilizados con diversos fines, como fungicidas (para combatir los hongos) e insecticidas (para combatir insectos y limitar el desarrollo secundario de hongos que se aprovechan de las heridas causadas por los insectos en los granos), entre otros.



Buenas condiciones de almacenamiento

Diversas prácticas poscosecha, como la recolección del cultivo en el momento adecuado de madurez, junto con un proceso adecuado de secado, almacenamiento y transporte utilizando contenedores secos y limpios, son parámetros fundamentales para reducir la probabilidad de contaminación de los cultivos. Para limitar la contaminación de productos almacenados, como los cereales, es necesario mantener temperaturas moderadas, controlar los niveles de humedad (inferiores al 15%) y asegurar que la actividad del agua (aw) del grano se mantenga por debajo de 0.7. Además, es esencial evitar la rehumidificación, que suele ocurrir debido a una ventilación inadecuada en el área de almacenamiento, lo que provoca la condensación de agua sobre los alimentos.

**Pero...
¿sabías que
también existen
microorganismos
no toxigénicos
que pueden ser de
gran ayuda como
grandes aliados en
la agricultura?**

Métodos biológicos:

Una de las estrategias que permite sustituir el uso de productos químicos en los cultivos, especialmente los pesticidas, es la utilización de microorganismos o sus metabolitos para prevenir la síntesis de micotoxinas. Un ejemplo de esto es el uso de bacterias no patógenas que interfieren en el crecimiento de hongos toxigénicos. Asimismo, se ha demostrado que hongos no toxigénicos son efectivos en esta tarea. De hecho, estudios recientes han demostrado que cepas no toxigénicas de *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus* son eficaces para reducir la contaminación por aflatoxinas cuando se inoculan en el suelo alrededor de cultivos en desarrollo como maíz, algodón y maní. Esta efectividad se debe a diversos factores, como la interacción competitiva entre las cepas no toxigénicas y las toxigénicas, así como la producción de ciertos compuestos orgánicos volátiles que inhiben el desarrollo de los hongos productores de toxinas.



En resumen, hemos aprendido que existen hongos filamentosos toxigénicos que son productores de micotoxinas, compuestos producidos como parte de su crecimiento y que pueden tener un impacto significativo en la salud humana y animal.

Pero... ¡no entremos en pánico!

Afortunadamente, a nivel mundial existen diversas regulaciones y medidas diseñadas para limitar la síntesis y/o la ingesta de compuestos tóxicos. Sin embargo, es fundamental que, en casa, estemos siempre atentos a la seguridad de nuestros alimentos.

Aquí algunas medidas que podemos tomar en cuenta para evitar el desarrollo de hongos filamentosos:

► **Almacenamiento adecuado:** mantén los alimentos bien sellados y en condiciones secas. Los productos como cereales, nueces y harinas deben guardarse en envases herméticos para evitar la humedad, ya que esta facilita el crecimiento de mohos.

► **Temperatura de refrigeración:** almacena alimentos perecederos en el refrigerador a una temperatura por debajo de los 5 °C. Evita sobrecargar el refrigerador para que el aire frío circule libremente y mantenga los alimentos frescos.

► **Rotación de alimentos:** sigue la regla de “primero en entrar, primero en salir” para consumir los alimentos más antiguos antes de los recién comprados y así evitar que se deterioren y desarrollen moho.

► **Lavado adecuado de frutas y verduras:** lava bien las frutas y verduras antes de su consumo para eliminar cualquier esporulación superficial de moho. Sécalas completamente antes de guardarlas en el refrigerador.

► **Revisar las fechas de caducidad:** verifica las fechas de vencimiento y descarta alimentos que hayan caducado o muestren signos de moho o deterioro

► **Evitar la contaminación cruzada:** mantén separados los alimentos crudos de los cocidos, especialmente en el refrigerador, para evitar que los microorganismos de otro producto contaminen a otros.

Adoptando estas prácticas simples, podemos reducir el riesgo de exposición a micotoxinas y mantener nuestros alimentos más seguros.



Finalmente recuerda:
si encuentras en casa un alimento contaminado con algún moho, es **mejor desechar el producto** entero que cortar la parte contaminada y comer el resto

Referencias

- ▶ Awuchi, C. G., Ondari, E. N., Nwozo, S., Odongo, G. A., Eseoghene, I. J., Twinomuhwezi, H., Ogbonna, C. U., Upadhyay, A. K., Adeleye, A. O. & Okpala, C. O. R. (2022). Mycotoxins' Toxicological Mechanisms Involving Humans, Livestock and Their Associated Health Concerns: A Review. *Toxins (Basel)*, 14, 167. doi:10.3390/toxins14030167.
- ▶ El-Sayed, R. A., Jebur, A. B., Kang, W. & El-Deimerdash, F. M. (2022). An Overview on the Major Mycotoxins in Food Products: Characteristics, Toxicity, and Analysis. *Journal of Future Foods*, 2, 91-102. doi:10.1016/j.jfutfo.2022.03.002.
- ▶ Pandey, A., Samota, M., Kumar, A., Sanches Silva, A. & Dubey, N. (2023). Fungal Mycotoxins in Food Commodities: Present Status and Future Concerns. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. doi:10.3389/fsu-2023.1162595.