

Alimentos y micotoxinas

Implicaciones en la seguridad alimentaria

Las micotoxinas son metabolitos fúngicos cuya ingestión, inhalación o absorción cutánea reduce la actividad, hace enfermar o causa la muerte de animales y personas. En el presente artículo se hace una revisión de estos compuestos, analizando sus implicaciones desde el punto de vista de la seguridad alimentaria.

ADELA-EMILIA GÓMEZ AYALA

Doctora en Farmacia. Diplomada en Nutrición.

La seguridad o inocuidad de los alimentos es un aspecto prioritario no sólo para las administraciones públicas, sino también y sobre todo, para la industria alimentaria. En este sentido, conviene recordar que la generación de episodios de inseguridad es incompatible con la rentabilidad de una industria a largo plazo.

En el amplio ámbito de las intoxicaciones debidas al consumo de alimentos, el mayor interés se concentra en las levaduras, los mohos, las setas comestibles y las venenosas.

Micotoxicosis

Los mohos crecen sobre materiales vegetales produciendo su deterioro. Forman metabolitos secundarios que actúan como antibióticos, favoreciendo la prevalencia del moho frente a otros microorganismos, muchos de los cuales son tóxicos para plantas y/o animales. Estos metabolitos que matan o hacen enfermar a los animales que los consumen se conocen como micotoxi-



nas y la afección que ocasionan recibe el nombre de micotoxicosis.

Los mohos filamentosos son uno de los múltiples grupos microbianos que pueden crecer sobre los alimentos pro-

vocando una serie de cambios en sus propiedades, como aparición de colores, ablandamientos y sabores extraños, así como la disminución de los nutrientes que aportan. Además, es-

Tabla I.
Mohos y micotoxinas encontrados en diversos alimentos

Mohos	Toxinas	Alimentos
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxinas	Maíz, cacahuete, semillas
	Esterigmatocistina	Algodón, arroz, alubias
	Ocratoxina A	Pasas, vino, tejidos de animales
<i>Fusarium</i>	Tricotecenos (DON, NIV, toxina T-2, DAS)	Trigo, maíz, arroz, cebada,
	Zearalenona, fumonisinas	centeno, avena
	Fusarina, moniliformina	
<i>Penicillium</i>	Patulina, citrinina	Frutas y zumos, arroz, queso,
	Penitrem A	trigo
	Ocratoxina A	
	Acido ciclopiazónico	
<i>Alternaria</i>	Altemariol	Frutas, legumbres y productos
	Acido tennazónico	derivados de manzanas y tomates
<i>Claviceps</i>	Alcaloides del ergot	Trigo y derivados, centeno

Fuente: Sanchís V, Martí S, Ramos AJ. Micotoxinas y seguridad alimentaria. Alimentación, Nutrición y Salud. 2004;1:17-23.

tos microorganismos son capaces de producir una serie de metabolitos secundarios, como las micotoxinas, que pueden tener un efecto perjudicial sobre los consumidores de estos alimentos.

Así pues, las micotoxinas pueden definirse como productos naturales producidos por hongos que provocan una respuesta tóxica cuando se introducen a bajas concentraciones en vertebrados superiores y otros animales por una ruta o vía natural. Los principales mohos productores de micotoxinas se recogen en la tabla I.

Las micotoxicosis son envenenamientos del huésped provocados por la entrada en su organismo de una sustancia tóxica de origen fúngico, que afecta tanto a los hombres como a los animales.

Las características de una micotoxicosis son las siguientes:

- No es una enfermedad transmisible.
- En los brotes observados en el campo, el problema es estacional, debido a que las condiciones climáticas afectan al desarrollo del moho.
- El brote está comúnmente asociado a un alimento o brote específico.
- El examen del alimento o forraje sospechoso revela signos de actividad fúngica.

Probablemente las micotoxinas han ocasionado enfermedades desde que el

hombre comenzó a cultivar plantas de forma organizada. En este sentido, se ha conjeturado que, por ejemplo, la intensa reducción demográfica experimentada en Europa occidental en el siglo XIII se debió a la sustitución de centeno por trigo, importante fuente de micotoxinas del hongo *Fusarium*. La producción de toxinas de *Fusarium* en cereales almacenados durante el invierno ocasionó también en Liberia, durante la Segunda Guerra Mundial, la muerte de miles de personas y diezmó pueblos enteros.

La presencia de toxinas en los vegetales puede deberse a:

- Infección de la planta en el campo por el hongo patógeno o colonización de las hojas por saprófitos.
- Crecimiento de los mohos saprófitos o patógenos poscosecha sobre los frutos y granos almacenados.
- Desarrollo fúngico saprofítico durante el almacenamiento de los materiales ya procesados.

Las micotoxinas de más interés son las aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxina A, patulina, tricotecenos, zearalenona, etc. Las especies más frecuentes corresponden a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*.

Las consecuencias económicas de las micotoxinas, en término de pérdidas de alimento y peso, reducción de la productividad de los animales, pérdida

de ingresos en divisas, aumento del costo de la infección y los análisis, compensación por reclamaciones, costos de presunción y medidas de control, son considerables.

En resumen, cabe afirmar que las micotoxinas son objeto de interés a nivel mundial, debido a las importantes pérdidas económicas que acarrear sus efectos sobre la salud de las personas, la productividad de los animales y el comercio nacional e internacional.

Factores implicados en la formación de micotoxinas

La producción de hongos toxigénicos depende de distintos factores:

- Factores biológicos, que incluyen las cosechas compatibles con y proclives al desarrollo de hongos toxigénicos.
- Infestación por insectos y pájaros, que influyen en la producción de micotoxinas por factores tales como humedad, temperatura y daños producidos por los propios insectos y pájaros.
- Cosechas con determinadas condiciones de temperatura, humedad, madurez del grano, daño mecánico, detección y diversificación.
- Almacenamiento (proceso durante el cual deben considerarse factores tales como infraestructura, temperatura ambiental, humedad, ventilación, condensación, presencia de insectos o plagas, limpieza, tiempo de almacenaje, detección y movimiento).
- Procesamiento y distribución: los procesos de removimiento de cáscaras y aceites, las condiciones de humedad en el proceso de paletizado, el empaque adecuado y las pruebas para detectar la presencia de micotoxinas, factor importantísimo para el control adecuado de los niveles de micotoxinas.

El impacto económico de las micotoxinas es enorme, estimándose que casi el 25% de las cosechas a escala mundial es afectado anualmente por hongos toxigénicos, que generan problemas al reducir la capacidad nutritiva del cereal en los alimentos, aumentan los costes de producción y la mortalidad e incrementan la susceptibilidad a las enfermedades infecciosas.

Producción de micotoxinas

Los mohos desarrollan un metabolismo primario muy similar al de la mayoría de los organismos eucarióticos. Por el contrario, la formación de metabolitos secundarios tiene lugar a partir de unos pocos intermediarios del metabolismo primario, bajo condiciones subóptimas y estrés. La biosíntesis de estos metabolitos está influenciada por parámetros nutricionales y ambientales, así como por la historia previa del desarrollo del moho. Actualmente se han identificado aproximadamente unas 300 toxinas fúngicas.

A mayor complejidad en la ruta biosintética de las micotoxinas, más restringido es el número de especies de hongos productores de micotoxinas. Así, por ejemplo, las esporidesminas son producidas únicamente por *Pithomyces chartarum*, mientras que la aflatoxina B la forman 3 especies estrechamente relacionadas: *Aspergillus parasiticus*, *A. nomins* y *A. flavus*.

Por otra parte, una especie dada puede generar una gran variedad de metabolitos secundarios. Así, por ejemplo, *Penicillium roqueforti* produce determinadas toxinas en condiciones de laboratorio, pero no en los quesos maduros.

Otro factor a considerar es la temperatura, que influye enormemente en el crecimiento y en la actividad de los mohos:

- *Aspergillus* es más frecuente en los trópicos.
- *Fusarium* abunda más en climas fríos.
- *Penicillium* predomina en zonas templadas.

Finalmente, en el campo se observa que una micotoxina particular se produce en gran cantidad en un producto y no en otro. Así, por ejemplo, los tricotecenos están asociados a cereales de zonas templadas, mientras que las aflatoxinas son más frecuentes en oleaginosas y cereales de zonas cálidas.

Los riesgos de las micotoxinas

Las entidades que se ocupan de la seguridad alimentaria se encargan de determinar qué riesgos asociados a los

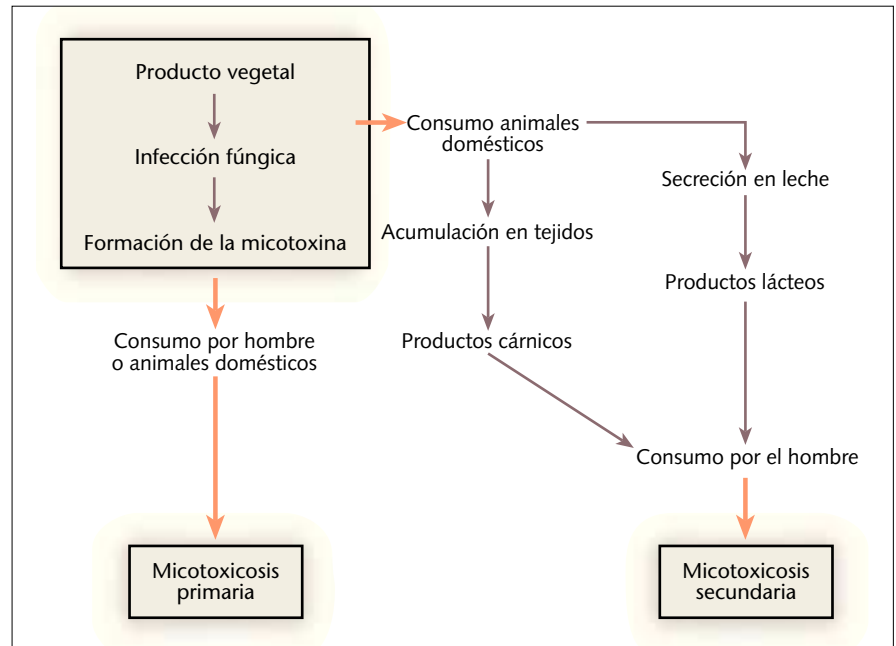


Figura 1. Micotoxicosis primaria y secundaria

alimentos pueden afectar a los consumidores y qué perjuicios pueden entrañar para su salud. En caso necesario, preparan un plan de actuación que minimice los posibles daños a los ciudadanos.

Las micotoxinas son uno de los riesgos que se asocian a los alimentos que integran la dieta habitual. Las posibles vías por las que esos compuestos podrían llegar a los alimentos acaban de comentarse en epígrafes anteriores.

Cereales, frutos secos y sus subproductos son los alimentos más susceptibles de acumular toxinas fúngicas. El bajo contenido hídrico de estos alimentos favorece la conservación de las micotoxinas. Si las condiciones de cultivo o de almacenamiento no son las

más idóneas, los mohos pueden sintetizar toxinas, que tras ser ingeridas por el consumidor, desencadenarán la llamada micotoxicosis primaria. En otros casos, la enfermedad por micotoxinas llega a la población a través de productos de origen animal (carne o leche) no contaminados directamente por mohos: es lo que se denomina micotoxicosis secundaria (fig. 1).

Es importante realizar la evaluación del riesgo general, que es función de las evaluaciones de los peligros que entrañan y de las evaluaciones de la exposición.

A la hora de evaluar el peligro que suponen las micotoxinas en la alimentación, destacan sus propiedades nefrotóxicas, hepatotóxicas, teratogénicas, neurotóxicas, estrogénicas y cancerígenas.

Factores como la toxicidad del compuesto, la cantidad de toxina ingerida, las condiciones físicas del individuo, su peso corporal y la presencia de otras micotoxinas determinan los problemas sanitarios que puede presentar un individuo que ingiera un alimento contaminado con micotoxinas.

Distintos estudios han revelado que algunas micotoxinas como aflatoxinas, patulina, ocratoxina A, fumonisinas y tricotecenos pueden constituir un auténtico peligro para la salud humana (la tabla II recoge las ingestas diarias tolerables de las principales micotoxinas).

Tabla II.
Ingesta diaria tolerable de las principales micotoxinas

Micotoxina	Ingesta diaria tolerable (µg/kg peso vivo/día)
Aflatoxina B ₁	0,014
Ocratoxina A	1,2-5,7
Fumonisinina B ₁	1,0
Tricotecenos	
– Desoxinivalenol	0,7
– Toxina T-2	0,06
– Nivalenol	0,7

Fuente: Sanchís V, Martí S, Ramos AJ. Micotoxinas y seguridad alimentaria. Alimentación, Nutrición y Salud. 2004; 1:17-23.

Aflatoxinas

Los mohos productores de aflatoxinas (diversas especies del género *Aspergillus*) están muy extendidos a nivel mundial, tanto en climas templados como en climas tropicales y subtropicales. Estos mohos son especies cosmopolitas y constituyen parte de la microbiota normal del aire y del suelo. La producción de aflatoxinas puede tener lugar antes y después de la cosecha, en numerosos alimentos y piensos, especialmente semillas oleaginosas, nueces comestibles y cereales.

Las aflatoxinas tienen una importante acción cancerígena que afecta al hombre y a los animales. El hígado es el principal órgano dañado.

Las pérdidas económicas atribuibles a estas micotoxinas son muy cuantiosas, ya que a las generadas en el ámbito agrícola por contaminación de cosechas, hay que sumar las derivadas de su efecto inmunotóxico sobre la salud humana.

Patulina

Esta micotoxina está presente en manzanas podridas contaminadas por *Penicillium expansum*. Este moho es el responsable de la podredumbre azul no sólo en manzanas, sino también en peras y otras frutas. El crecimiento de este hongo y la producción de patulina se asocia a frutas dañadas por insectos, granizo o durante su manipulación en la recolección. Esta micotoxina se encuentra en mayor proporción en frutas dañadas destinadas a zumos, sidra, salsas, purés y compotas.

La patulina ejerce un efecto neurotóxico y produce lesiones anatomopatológicas graves en las vísceras.

Ocratoxina A

Varias especies de *Aspergillus* y *Penicillium* producen la ocratoxina A. La exposición a esta micotoxina tiene lugar principalmente en zonas templadas del hemisferio norte donde se cultiva trigo y cebada. También se ha notificado su identificación en el café.

La detección en Europa de la presencia de ocratoxina A en productos de cerdo vendidos en establecimientos minoristas y en sangre de este mismo animal ha demostrado que esta micotoxina puede pasar de los piensos a



Las micotoxicosis son envenenamientos del huésped provocados por la entrada en su organismo de una sustancia de origen fúngico que afecta tanto a los humanos como a los animales

los productos de origen animal. Recientemente también se ha detectado su presencia en zumos de uva, vinos y cerveza.

Este compuesto se ha relacionado con la neuropatía endémica de los Balcanes, una enfermedad renal crónica mortal que afecta a los habitantes de algunas regiones de Bulgaria, la ex Yugoslavia y Rumania. Su consumo se ha asociado a toxicidad renal, neuropatía e inmunodepresión en varias especies de animales y a cáncer en animales de experimentación.

Fumonisinias

Son un grupo de micotoxinas caracterizado recientemente y producidas por *Fusarium moniliforme*, un moho presente en todo el mundo y que se encuentra frecuentemente en el maíz. Si bien se conocen más de 18 fumonisinas distintas, las fumonisinas B₁, B₂ y B₃ son las que se encuentran con mayor frecuencia en la naturaleza. Se asocia a enfermedades como la leucoence-

falomalacia equina y el edema pulmonar porcino. En humanos se ha asociado a una mayor incidencia de cáncer esofágico.

El maíz y sus derivados son, básicamente, los principales productos destinados a la alimentación humana que se encuentran contaminados por esta toxina.

Tricotecenos

Los tricotecenos son un grupo de micotoxinas producidas por hongos del género *Fusarium* y otros géneros relacionados. Dentro de este grupo de sustancias, las más importantes son el desoxinivalenol, la toxina T-2 y el nivalenol. La toxina T-2 aparece en cereales de muchas partes del mundo y está relacionada particularmente con periodos prolongados de tiempo lluvioso durante la cosecha. Esta toxina se ha postulado como la causa posible de aleucia tóxica alimentaria, enfermedad que afectó a miles de personas en Siberia durante la Se-

gunda Guerra Mundial, ocasionando la aniquilación de pueblos enteros. Sus síntomas incluían fiebre, vómitos, inflamación aguda del aparato digestivo y diversas alteraciones sanguíneas.

Los cereales son el principal sustrato de entrada de estas toxinas en la cadena alimentaria.

Técnicas de erradicación de micotoxinas

El problema de la presencia de micotoxinas en diversos productos alimentarios no es nuevo y representa un grave trastorno, tanto para la industria como para la agricultura. Desde ambos ámbitos se trabaja de forma prioritaria para minimizar la presencia de estas sustancias.

Las técnicas de descontaminación pueden clasificarse en:

- Métodos de inactivación, que pueden ser físicos o químicos.
- Métodos de eliminación, que incluyen métodos químicos, físicos o biológicos.

Un tratamiento realmente efectivo debe inactivar, destruir o eliminar la toxina y no dejar residuos tóxicos en el alimento. La separación física puede realizarse por vía manual o electrónica y es especialmente útil para la eliminación de aflatoxinas en el cacahuete.

Los métodos químicos son los que han resultado más efectivos a la hora de minimizar la producción de hongos y sus micotoxinas; entre ellos se incluye la amoniación.

Investigación del nivel de micotoxinas

El análisis de micotoxinas se plantea según un esquema que consta de varias etapas básicas: muestreo, preparación de la muestra y extracción, *clean-up* o limpieza, separación final, detección, cuantificación y confirmación.

La metodología que implica el uso de enzoinmunoensayo puede aplicarse directamente tras la etapa de extracción. Estas técnicas se caracterizan por una alta sensibilidad y especificidad para distintas micotoxinas y arro-



Cereales, frutos secos y subproductos son los alimentos con más tendencia a acumular toxinas fúngicas

jan resultados cuantitativos de mucha precisión.

Prevención de la contaminación

Los únicos medios para la prevención de la contaminación por micotoxinas incluyen el correcto manejo de los cultivos y cosechas, tanto de granos como de hortalizas, y el control de la calidad de los alimentos que reciben los animales destinados al consumo humano. Si se aprecian alteraciones organolépticas en frutas u hortalizas, ésta es una razón para rechazar el producto por la potencial formación de toxinas, debidas al deterioro provocado por los mohos. En lo que respecta a los productos de granja, realmente es difícil saber si carnes, huevos y quesos «caseros» están o no contaminados por micotoxinas, ya que en este caso se suele ignorar cuál es el estado de los animales y la calidad de los alimentos que han consumido.

Una vez formadas las micotoxinas, no pueden ser eliminadas durante el procesamiento culinario, aunque en algunos casos puede reducirse su contenido.

Buena parte de las micotoxinas se encuentra en unos pocos granos, de forma que si se logra separarlos, se reduce considerablemente la proporción de micotoxinas en los subproductos. Para la selección del cacahuete se han usado técnicas basadas en el color. En relación con las manzanas y la sidra elaborada a partir de ellas, el mondado de las manzanas para eliminar las zonas alteradas ha conseguido disminuir en un 95% el contenido en patulina de esa sidra.

Las micotoxinas son moderadamente estables a los procedimientos de tostado. Así, el cacahuete pierde casi el 40% de aflatoxina B₁, mientras que los granos de café verde pierden casi el 80% de ocratoxina A. La panificación reduce entre un 16 y un 69% el nivel de desoxinivalenol presente en la harina de trigo. El tratamiento del maíz con hidróxido sódico disminuye significativamente el contenido de aflatoxina. El empleo de bentonita y otros silicoaluminatos adsorbe las aflatoxinas de los sustratos que las contienen, pero no es útil para eliminar otras micotoxinas. □

Bibliografía general

- Anónimo. Intoxicaciones alimentarias: micotoxinas. Seminarios de Toxicología y Química Legal. Cátedra de Toxicología y Química Legal. Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata (consultado el 27 de abril de 2007). Disponible en: http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte_2/micotoxinas.html
- Anónimo. Introducción a las micotoxinas. En: Manual sobre la aplicación del sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control en la prevención y control de las micotoxinas (consultado el 27 de abril de 2007). Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y1390S/y1390S00.pdf>
- Bhat RV, Vasanthi S. Contaminación por micotoxinas de alimentos y piensos. Tercera Conferencia Internacional FAO/OMS/PMA sobre Micotoxinas. Túnez, 1999.
- Carrillo L. Micotoxinas. Microbiología Agraria. 2003;6:1-7.
- Di Paolo O, Tosi EA. Contaminación de harina de maíz con ocratoxina A. Alimentaria. 1998;293:67-9.
- González Salas R. Desafíos en la lucha contra las micotoxinas (consultado el 27 de abril de 2007). Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/micotoxinas/micotoxinas.shtml>
- Legarda T, Burdaspal P. Presencia de ocratoxina A en muestras de pan comercializado en España y en muestras procedentes de doce países extranjeros. Alimentaria. 2001;321:89-96.
- Sanchís V, Martí S, Ramos AJ. Micotoxinas y seguridad alimentaria. Alimentación, Nutrición y Salud. 2004; 1:17-23.