

Las micotoxinas: CONTAMINANTES NATURALES de los alimentos



Abraham Méndez-Albores y Ernesto Moreno-Martínez

Las micotoxinas son sustancias producidas por ciertos hongos pertenecientes principalmente a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. Suelen encontrarse en una gran variedad de productos agrícolas, y son los contaminantes naturales de los alimentos más extendidos a nivel mundial. Son altamente tóxicos, producen mutaciones (mutágenos), producen cáncer (cancerígenos), malformaciones en los fetos (teratógenos) y disminuyen la inmunidad (inmunosupresores). Debido a su gran variedad de efectos tóxicos, y sobre todo a su extrema resistencia al calor (termorresistencia), la presencia de las micotoxinas en los alimentos es considerada de alto riesgo para la salud humana y de los animales.

La contaminación de los alimentos con micotoxinas depende de las condiciones ambientales, que pueden propiciar el crecimiento del hongo y por ende la producción de las toxinas. Por tanto, la mayoría de los productos agrícolas pueden ser susceptibles de contaminación casi en cualquier momento, desde su producción en el campo, durante la cosecha, en el transporte y en el almacenamiento.

La información en México respecto a la incidencia y los niveles de contaminación por micotoxinas en los alimentos está limitada por muchos factores, entre ellos los recursos disponibles para realizar investigaciones, las facilidades de los laboratorios para llevar a cabo los análisis, lo adecuado de los procedimientos de muestreo y la sensibilidad de los métodos de cuantificación utilizados. De la extensa variedad de micotoxinas, alrededor de una veintena han sido particular-

mente investigadas, y seis se consideran importantes desde el punto de vista alimentario (Tabla 1). Consecuentemente, el presente artículo revisa algunos aspectos de estas micotoxinas, su ocurrencia en los alimentos destinados para el consumo humano y los niveles de tolerancia establecidos para cada metabolito.

Ocratoxina

Las ocratoxinas son micotoxinas que afectan el sistema nervioso (neurotóxicas) y pueden causar cáncer de riñón (nefrocancerígenas). Son producidas por el hongo *Penicillium verrucosum* en regiones con clima frío, y por algunas especies de *Aspergillus* (como *A. ochraceus*) en regiones con clima tropical. La mayoría de estos hongos producen principalmente ocratoxina A y raras veces ocratoxina B. La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC) clasificó a la ocratoxina A en el grupo 2B, como una sustancia posiblemente cancerígena en humanos.

Las ocratoxinas, son moléculas moderadamente estables y por tanto suelen resistir la mayoría de los procesos de elaboración de los alimentos, como el hervido, el tostado, el horneado, el freído y la fermentación. Se estima que la ingesta diaria de este tipo de micotoxinas en humanos se encuentra entre 0.7 y 4.7 nanogramos (milmillonésimas de gramo) por kilogramo de peso corporal. De ella, cerca del 50 por ciento es atribuida al consumo de cereales y sus productos derivados.

La ocurrencia natural de la ocratoxina A es evidente en la mayoría de los cereales como maíz, trigo,

Tabla 1. Micotoxinas comúnmente encontradas como contaminantes de los alimentos.

Micotoxina	Efectos	Hongo productor	Grupo IARC*	Límite de tolerancia
Ocratoxina A	Nefrotóxicas	<i>Penicillium verrucosum</i>	2B	3 mg/kg (cereales)
	Nefrocancerígenas	<i>Aspergillus ochraceus</i>		
Zearalenona (F-2 o ZEN)	Estrógenas	<i>Fusarium graminearum</i>	3	1 mg/kg (cereales)
	Genotóxicas	<i>F. culmorum</i>		
Patulina	Poca evidencia experimental o clínica, de sus efectos en humanos	<i>Penicillium expansum</i>	3	50 mg/L (jugo de manzanas)
Tricotecenos Deoxinivalenol (DON)	Citotóxicas	<i>Fusarium graminearum</i>	3	0.5 mg/kg (cereales)
	Inmunosupresoras	<i>F. verticilliodes</i> <i>F. culmorum</i> .		0.75 mg/kg (harinas)
Fumonisin FB ₁ , FB ₂ y FB ₃	Leucoencefalomalacia en equinos	<i>Fusarium verticilliodes</i>	2B	1 mg/kg para FB ₁ y FB ₂ (maíz)
	Edema pulmonar en porcinos	<i>F. proliferatum</i>		
	Cáncer en humanos			
Aflatoxinas AFB ₁ , AFB ₂ , AFG ₁ y AFG ₂	Cancerígenas	<i>Aspergillus flavus</i>	1	20 mg/kg para aflatoxinas totales
	Mutágenas	<i>A. parasiticus</i>		
	Teratógenas			

* International Agency for Research on Cancer.

cebada, sorgo, arroz, avena y centeno. Sin lugar a duda la ocurrencia de este tipo de micotoxina está asociada con las condiciones climáticas, y sobre todo con las condiciones de cosecha y manejo poscosecha de los granos. Las concentraciones usualmente encontradas están por debajo de los 50 microgramos (milésimas de gramo) por kilogramo; sin embargo, se pueden presentar niveles más altos, sobre todo cuando los productos son almacenados bajo condiciones inadecuadas. Las ocratoxinas también se han encontrado en otros ali-



Sorgo.

mentos como los frijoles, la soya, el café, las nueces, los frutos secos, el cacao, los jugos y los vinos de uva, la cerveza y en algunas especias.

Los Estados Unidos y la Comisión Europea establecieron un límite máximo de tolerancia de 5 microgramos por kilogramo para los cereales no destinados al consumo humano; 3 microgramos por kilogramo para los destinados al consumo humano; 3 microgramos por kilogramo para los granos de café tostado; 10 para el vino procedente de frutos deshidratados; 2 para los granos de cacao; 0.5 para el vino de mesa y los jugos de uva, y 0.2 microgramos por kilogramo para la cerveza.

Zearalenona

Este tipo de micotoxina también es conocida como toxina F-2 o ZEN, y es producida por especies del hongo *Fusarium*, comúnmente *F. graminearum* y *F. culmorum*. El efecto más importante de la zearalenona es sobre el sistema reproductivo, causando exceso de producción de estrógenos (hiperestrogenismo), particularmente en las cerdas.

Hay poca evidencia de que la zearalenona cause cáncer; sin embargo, la evidencia respecto a su capacidad de causar mutaciones (genotoxicidad) es contra-

dictoria, pues se ha reportado que es genotóxica en ratones. La mayoría de estos estudios son totalmente dependientes de la especie evaluada, y por consiguiente se requiere de más investigación para confirmar que la zearalenona sea un carcinógeno potencial en humanos. La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer identificó a la zearalenona en el grupo 3, como una sustancia no clasificable como cancerígena en humanos.

La zearalenona se encuentra principalmente en granos como maíz, cebada, trigo y arroz. Sin embargo, la contaminación con zearalenona no se restringe únicamente a los cereales, pues también se la ha encontrado en cerveza, frijoles, plátanos y soya.

La zearalenona es parcialmente degradada por el efecto de la temperatura (120-140 grados Celsius) y por tanto siempre existirá un remanente en el alimento, aun después del procesamiento. Los límites de tolerancia para esta micotoxina han sido evaluados con base en los niveles a los cuales no poseen efectos hormonales en las cerdas. Consecuentemente, se han establecido tolerancias de hasta 1 microgramo por kilogramo para la mayoría de los cereales.

Patulina

La patulina es un compuesto tóxico producido por una gran variedad de especies de hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. De ellos, *P. expansum* es el más importante, pues es un contaminante común de las manzanas y otros frutos. Se ha reportado que la patulina posee actividad antibiótica, la cual ha sido evaluada en humanos para probar su utilidad en el tratamiento de los resfriados comunes; sin embargo, su efectividad aún no ha sido claramente demostrada debido a que es altamente irritante al estómago y además suele ocasionar náuseas y vómito. La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer clasificó a la patulina en el grupo 3.

Bajo ciertas condiciones de laboratorio, la patulina se ha logrado producir en manzanas, jugo de uva, cereales y en algunos quesos. Sin embargo, en situaciones naturales, la patulina es un contaminante típico de las manzanas, del jugo y de la sidra. Otros productos a base de manzanas, como tartas y mermeladas, también



Manzanas.

suelen contener pequeñas cantidades. Ocasionalmente la patulina ha sido encontrada en frutos con pudrición espontánea como plátanos, peras, piñas, duraznos y jitomates; sin embargo, los niveles reportados generalmente han sido relativamente bajos.

Generalmente, la patulina no se encuentra en bebidas alcohólicas ni en vinagre; sin embargo, se la ha encontrado en la sidra dulce (la cual se combina con jugo de manzana no fermentado). Además, se sabe que la patulina es degradada por el dióxido de azufre (SO_2), el cual se emplea comúnmente como conservador en los jugos de frutas y otros alimentos.

La patulina no ha sido sujeta a regulación en la mayoría de los países; sin embargo, la calidad del jugo de fruta (manzana) es controlada por algunos de ellos, que han establecido una concentración máxima de 50 microgramos por litro.

Tricotecenos

Son un grupo de compuestos estrechamente relacionados en cuanto a su estructura química molecular, y son producidos principalmente por hongos como *Fusarium graminearum*, *F. verticillioides* y *F. culmorum*.

La toxicidad de los tricotecenos es caracterizada por alteraciones gastrointestinales como vómito y diarrea; además, este grupo de micotoxinas son extremadamente tóxicas a nivel celular (citotóxicas) así como altamente inmunosupresoras. Los tricotecenos han

sido clasificados en dos grandes grupos: el grupo A, que incluye a la toxina T-2 y a la toxina HT-2; y el grupo B, que incluye al desoxinivalenol (DON), al nivalenol y a la fusarenona X.

A la fecha, ha identificado a poco más de 150 diferentes tricotecenos; sin embargo, la información de su ocurrencia natural en los alimentos es escasa, y generalmente se refiere al desoxinivalenol (vomitoxina), al nivalenol y a la toxina T-2. La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer identificó al desoxinivalenol, al nivalenol, y a la fusarenona X en el grupo 3.

Los tricotecenos se encuentran generalmente en cereales como maíz, trigo, cebada, avena, arroz y soya. Sin embargo, algunos reportes indican su presencia en sorgo, plátanos, papas, mangos y semillas de mostaza y girasol.

La legislación de los tricotecenos existe solamente en pocos países, ya que estos compuestos se presentan en los alimentos como una mezcla de toxinas (con diferentes grados de toxicidad) y sobre todo a diferentes concentraciones. Debido a su importancia, se detallan algunos aspectos de uno de los principales tricotecenos: el desoxinivalenol.

Desoxinivalenol (DON)

Es uno de los 150 compuestos conocidos como tricotecenos, y su toxicidad ha sido difícil de relacionar con los resultados experimentales de situaciones reales, debido a que generalmente se presenta acompañado de otros tipos de tricotecenos. En particular, la toxicidad del desoxinivalenol se caracteriza por vómito y diarrea, mientras que en una intoxicación aguda puede observarse necrosis en el tracto gastrointestinal y en los tejidos linfoides.

Frecuentemente se detectan cantidades significativas de desoxinivalenol en maíz, avena, cebada y trigo; mientras que los niveles más bajos generalmente están asociados a materiales tales como el triticale (cruza de trigo y centeno), el centeno, el sorgo y el arroz.

El desoxinivalenol es térmicamente estable y por tanto es difícil de eliminar una vez formado en los cereales. Sin embargo, es soluble en agua y puede eliminarse una cantidad considerable en los procesos que involucran el lavado.



Plantación de arroz.

La Comunidad Europea estableció un límite para el desoxinivalenol de 0.5 miligramos por kilogramo para los cereales de consumo directo, y 0.75 miligramos por kilogramo para las harinas empleadas como materia prima.

Fumonisinias

Las fumonisinias son un grupo de al menos 15 micotoxinas producidas principalmente por los hongos *Fusarium verticillioides* y *F. proliferatum*, las cuales se encuentran frecuentemente en todas las regiones productoras de maíz a nivel mundial.

Existen al menos tres fumonisinias de ocurrencia natural: se conocen como FB₁, FB₂ y FB₃. La FB₁ es siempre la más abundante, seguida por la FB₂ y la FB₃. Generalmente estas toxinas se encuentran en los alimentos en concentraciones de partes por millón (miligramos por kilogramo). Este tipo de micotoxinas producen una gran variedad de efectos en los animales; leucoencefalomalacia (reblandecimiento de la sustancia blanca del cerebro) en equinos, edema (hinchazón) pulmonar en porcinos, así como toxicidad del riñón (neurotoxicidad) y cáncer de hígado en ratas. Su efecto en humanos ha sido difícil de determinar; sin embargo, se han asociado con una alta incidencia de cáncer de esófago y con la promoción de cáncer hepático en ciertas áreas endémicas de China. Con base en la evidencia toxicológica disponible, la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer clasificó a las fumonisinias B₁ y B₂ en el grupo 2B.

Al parecer las fumonisinas se hallan en cualquier región en donde se cultive maíz, exceptuando algunas áreas frías, que pueden escapar ligeramente al problema de esta contaminación.

Algunos de los alimentos procesados para consumo humano que frecuentemente presentan contaminación con fumonisinas son las harinas de maíz, las hojuelas de maíz y la sémola. Por el contrario, los productos que suelen presentar bajos niveles de estas toxinas son el arroz, los frijoles, el sorgo, la cerveza y las especias.

Las fumonisinas son relativamente estables y no son destruidas por tratamientos con calor moderado. Lue-

go del tratamiento del maíz con hidróxido de calcio (nixtamalización) no se han detectado fumonisinas en las tortillas; sin embargo, debe ponerse atención a los productos degradados como la fumonisina hidrolizada, la cual puede ser tan tóxica como el compuesto original.

Existen diferencias entre países respecto al límite de tolerancia establecido para las fumonisinas. Se ha propuesto 5 miligramos por kilogramo para proteger a los animales más susceptibles, como los caballos, y 50 miligramos por kilogramo para cerdos. Sin embargo, pocos países han establecido límites de tolerancia para alimentos destinados al consumo humano, entre



Los productos agrícolas pueden contaminarse con micotoxinas, compuestos tóxicos producidos por hongos, en cualquier momento, desde su producción en el campo, durante la cosecha, en el transporte o en el almacenamiento.

Un alimento invadido por hongos no siempre contendrá micotoxinas. A la inversa, no debe asumirse que los alimentos con bajas cuentas de hongos estén libres de micotoxinas.

El uso de técnicas de manejo del maíz en el campo, puede ayudar a aminorar el problema de la contaminación por micotoxinas; sin embargo, nunca ofrecerán una solución total.

ellos Suecia, que permite 1 miligramo por kilogramo para la suma de las fumonisinas B₁ y B₂ en el grano de maíz.

Aflatoxinas

Son un grupo de aproximadamente 20 compuestos estrechamente relacionados; sin embargo, únicamente cuatro tipos se encuentran normalmente en los alimentos. Son producidos tanto en el campo como en almacenamiento por algunas cepas de *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*.

Las cuatro principales aflatoxinas han sido subdivididas en los grupos B y G, con base en la fluorescencia azul (*blue*) o verde (*green*) que presentan bajo la luz ultravioleta, y se denominan AFB₁, AFB₂, AFG₁ y AFG₂. Generalmente, la AFB₁ es la de mayor ocurrencia y se presenta en mayor concentración en los productos alimenticios. La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer clasificó a las aflatoxinas en el grupo 1 como sustancias (o mezclas) con alto poder cancerígeno en humanos.

La manera más eficiente de controlar la presencia de las aflatoxinas en los alimentos es evitar su formación. Prevenir la producción de las aflatoxinas en el campo no es tarea fácil; sin embargo, el riesgo se puede reducir mediante el uso de algunas prácticas culturales agronómicas desfavorables para el establecimiento del hongo en la mazorca. Por el contrario, la producción de las aflatoxinas durante el almacenamiento es un problema tecnológico, el cual puede solucionarse secando

apropiadamente el grano antes del almacenamiento. Sin embargo, la tecnología poscosecha es aún incipiente en países en vías de desarrollo como México.

La producción de aflatoxinas es un problema serio de salud pública asociado a materiales como el cacahuate, pistaches, semillas del algodón, nueces y copra (médula del coco). Pero es sobre todo un problema en el maíz, por su amplio uso en la alimentación humana y animal.

Los alimentos con relativamente bajo riesgo de contaminación con aflatoxinas son las almendras, pasas, higos y especias. De estas últimas, las que han mostrado una mayor incidencia de contaminación con aflatoxinas son los chiles, pimentones y el jengibre. Los frijoles, soya, sorgo, trigo, avena y arroz son moderadamente susceptibles a la contaminación. Ocasionalmente, las aflatoxinas también contaminan granos de cacao, la linaza, las aceitunas, semillas de calabaza y girasol y el ajonjolí.

Es casi imposible eliminar completamente las aflatoxinas de los alimentos mediante su procesamiento. Por consiguiente, al igual que otros carcinógenos, se sugiere que los niveles en los alimentos sean lo más bajos tecnológicamente posible. Durante el proceso de la nixtamalización del maíz para la elaboración de tortillas se ha reportado una aparente reducción (60 a 90 por ciento) en los niveles de aflatoxinas. Sin embargo, también se ha sugerido que la acidificación puede revertir la reacción, tal y como puede ocurrir en el tracto digestivo humano durante la digestión.

La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA), estableció en 1977 un límite permisible de 20 microgramos por kilogramo para las aflatoxinas totales en los alimentos destinados al consumo humano. Sin embargo, en algunos países europeos se han establecido límites de tolerancia más estrictos, específicamente para la AFB₁, reglamentando 5 microgramos por kilogramo para los alimentos destinados tanto al consumo humano como animal.

Conclusiones

Sin lugar a duda las medidas preventivas para reducir la contaminación de productos agrícolas con hongos toxígenos son la mejor alternativa



Centeno.

para evitar la presencia de las micotoxinas en nuestros alimentos. Esto puede apoyarse con el desarrollo de variedades resistentes a la contaminación por micotoxinas, el uso de prácticas agronómicas mejoradas en los cultivos (empleando densidades de población moderadas, riegos necesarios para que el cultivo no sufra por estrés de agua y fertilización nitrogenada, entre otras), así como adecuadas tecnologías poscosecha (minimizando el daño mecánico del grano durante la cosecha y realizando un secado rápido y efectivo para su transporte y almacenamiento). El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) están apoyando investigación básica y aplicada para este propósito.

La seguridad en los alimentos es un aspecto que debe enfatizarse; por tanto, es necesario contar con medidas más estrictas de control por nuestras autoridades, incluso para los alimentos que se producen en nuestro país. No existe la menor duda de que las micotoxinas son causantes de enfermedades e incluso de muerte en nuestra población; sin embargo, no existen estadísticas, ni estudios precisos al respecto.

Los efectos tóxicos agudos de las micotoxinas, solamente son observables en situaciones excepcionales; por tanto, no hay que olvidar que las micotoxinas también son capaces de inducir una gran variedad de enfermedades crónicas como el cáncer, resultado de una exposición a largo plazo por el consumo de alimentos contaminados, aún con bajos niveles de estas micotoxinas.

Abraham Méndez-Albores es doctor en ciencias por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN). Actualmente es posdoctorante en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM con apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Su área de investigación son los mecanismos de inactivación de las aflatoxinas en los alimentos.

albores@walla.com

Ernesto Moreno Martínez es doctor en fitopatología por la Universidad de Minnesota. Actualmente ocupa la jefatura de la

Unidad de Investigación en Granos y Semillas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Su área de investigación es la problemática del sistema poscosecha de granos y semillas y las micotoxinas.

ernesto@servidor.unam.mx

Bibliografía

- Battaglia, R., T. Hatzold y R. Kroes (1996), "Conclusions from the workshop on ochratoxin in food, organized by ILSI Europe in Aix-en-Provence 10-12 January 1996", *Food additives and contaminants*, 13, 1-3.
- Food and Drug Administration, USA (1977), "FDA proposed guidelines for aflatoxin", *Cereal foods world*, 22, 532-541.
- Langseth, W., y O. Elen (1996), "Differences between barley, oats and wheat in the occurrence of deoxynivalenol and other trichothecenes in Norwegian grain", *Journal of phytopathology*, 144, 113-118.
- Méndez-Albores, A., G. Arámbula-Villa., G. Loarca-Piña., J. González-Hernández., E. Castaño-Tostado y E. Moreno-Martínez (2004a), "Aflatoxin's fate during the nixtamalization of contaminated maize by two tortilla-making processes", *Journal of stored products research*, 40, 87-94.
- Méndez-Albores, A., G. Arámbula-Villa., J. C. Del Río-García y E. Moreno-Martínez (2004b), "Aflatoxin-detoxification achieved with Mexican traditional nixtamalization process (MTNP) is reversible", *Journal of the science of food and agriculture*, 84, 1611-1614.
- Moreno, M. E. (1996), "El maíz y las aflatoxinas", en F. Torres, I. Chong y J. Quintanilla (compiladores), *La industria de la masa y la tortilla: desarrollo y tecnología*, México, PUAL-UNAM, pp. 139-145.
- Moss, M. O. (1996), "Mycotoxins", *Mycology research*, 100, 513-523.
- Tanaka, T., A. Hasegawa., S. Yamamoto., U. Lee., Y. Sugiura y Y. Ueno (1988), "Worldwide contamination of cereals by the *Fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol, and zearalenone. 1. Survey of 19 countries", *Journal of agricultural and food chemistry*, 36, 979-983.
- Ueno, Y., K. Iijima., S. D. Wang., Y. Sugiura., M. Sekijima., T. Tanaka., C. Chen y S. Z. Yu (1997), "Fumonisin as a contributory risk factor for primary liver cancer: a 3- year study of corn harvested in Haimen, China, by HPLC and ELISA", *Food and chemical toxicology*, 35, 1143-1150.
- Van Egmond, H. P., y G. J. A. Speijers (1994), "Survey of data on the incidence and levels of ochratoxin A in food and animal feed worldwide", *Journal of natural toxins*, 3, 125-144.