

COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS S



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Organización
Mundial de la Salud

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia - Tel: (+39) 06 57051 - Fax: (+39) 06 5705 4593 - E-mail: codex@fao.org - www.codexalimentarius.net

Tema 9(c) del programa

CX/CF 12/6/14

Enero 2012

PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS

COMITÉ DEL CODEX SOBRE CONTAMINANTES DE LOS ALIMENTOS

Sexta reunión

Maastricht, Países Bajos, 26 – 30 de marzo de 2012

DOCUMENTO DE DEBATE SOBRE LA PRESENCIA DE HONGOS Y MICOTOXINAS EN EL SORGO

INFORMACIÓN GENERAL

1. El Comité del Codex sobre Contaminantes de los Alimentos, en su 5ª reunión examinó un documento de debate sobre la presencia de micotoxinas en el sorgo, preparado por la delegación del Sudán con la colaboración de Bélgica, Brasil, el Japón y los Estados Unidos. El documento de debate CX/CF 11/5/9 se centró en los siguientes temas principales: los hongos productores de micotoxinas en el sorgo, y los tipos y concentraciones de micotoxinas observados en el sorgo.
2. El Comité tomó nota de las recomendaciones formuladas por el grupo de trabajo por medios electrónicos, con relación a dos puntos: recoger más datos e investigaciones sobre la presencia de micotoxinas en el sorgo, y añadir como anexo al código de prácticas (CP) actual (CAC/RCP 51-2003) indicaciones para la gestión del contenido de las aflatoxinas en el sorgo.
3. El representante de la OMS informó al Comité de la obtención de recursos suficientes a través del fondo fiduciario del Codex para permitir a la FAO y la OMS llevar a cabo conjuntamente un proyecto en cuatro países pilotos de África, con el fin de recoger muestras y analizar las micotoxinas y los hongos productores de micotoxinas presentes en el sorgo.
4. El Comité señaló que como se recopilarían datos en el estudio experimental del fondo fiduciario del Codex sobre las micotoxinas presentes en el sorgo, no sería necesario seguir debatiendo los niveles máximos (NM) en este momento; sin embargo, se recomienda seguir recogiendo información y presentarla al Programa de SIMUVIMA/Alimentos.
5. De esta manera, el Comité acordó restablecer el grupo de trabajo por medios electrónicos (GTe), bajo la presidencia de Nigeria, abierto a la participación de todos los miembros y observadores del Codex, con el fin de:
 - poner al día el documento de debate;
 - examinar la parte general del actual *Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación de los cereales por micotoxinas*, y determinar si era pertinente y factible para la producción de sorgo;
 - estudiar la viabilidad de incluir en el CP un anexo adicional para la "Prevención y reducción de la contaminación por aflatoxinas en el sorgo en grano", a fin de que se examinara en la siguiente reunión.¹
6. Este documento de debate se puso al día para incluir: registros de la producción hasta 2010; otras micotoxinas documentadas, como la patulina, la esterigmatocistina y la toxina T-2; el perfil creciente del sorgo en el comercio internacional y diversos usos domésticos e industriales; además de incidencias de micoflora y micotoxinas y la ingesta alimentaria hasta 2011. Se introdujo una sección sobre prevención, control y reglamentación de la presencia de las micotoxinas en el sorgo, así como la sección sobre la ingesta alimentaria. La información tomada del documento de debate se utilizó para el análisis del *CP para prevenir y reducir la contaminación de los cereales por micotoxinas*, que informó las recomendaciones del GTe formuladas a la sexta reunión del Comité.

¹ RE11/CF, párrs. 52-59.

INTRODUCCIÓN

1. El sorgo es un género de unas veintiocho especies de gramíneas, pero sólo se cultiva una especie, a saber, el *Sorghum bicolor*, para obtener alimentos y piensos. Los datos arqueológicos y los registros históricos documentan que el *Sorghum bicolor*, cultivado principalmente por sus granos comestibles es originario de África, de la zona del Sudán, Etiopía, el Chad y Camerún. Si bien los primeros registros de arqueobotánica demuestran claramente que en la India el sorgo se domesticó alrededor del año 2000 aC (de Wet *et al.*, 1966), es evidente que su cultivo en África para obtener alimentos es anterior a su aparición en Asia, y se estima que se haya producido entre los años 4000 aC y 3000 aC. Hay cinco principales variedades de *Sorghum bicolor*, a saber: *bicolor*, *caudatum*, *durra*, *guinea* y *kafir*, y diez variedades intermedias, todas ellas combinaciones de las variedades básicas. Las variedades se distinguen por la forma del grano, las glumas y la panícula.
2. La especie cultivada del sorgo puede crecer en los suelos áridos de las zonas tropicales y subtropicales y puede tolerar prolongadas sequías. Waliyar *et al.* (2007) enumeraron cuatro características que lo hacen uno de los cultivos más resistentes de todos a la sequía. Su extensa superficie desde la raíz a la hoja y la capacidad de enrollar sus hojas para disminuir la pérdida de agua por transpiración durante la sequía dotan a la planta de una gestión muy eficaz del agua. Durante las condiciones de sequía extrema la planta se aletarga, en lugar de morir. Otra característica importante que hace al sorgo resistente a la sequía es que sus hojas están protegidas por una cutícula cerosa.
3. Este cultivo se produce especialmente por su almidón. La FAO (1994) reveló la composición nutricional del sorgo. El grano entero contiene 73,8% del almidón y una cantidad considerable de proteínas (12,3%) con ricos depósitos de vitaminas del complejo B (niacina, riboflavina y piridoxina). La apreciable cantidad de proteínas permite subsistir a la población humana que depende de esta planta. El grano contiene poca ceniza (1,67%) y aceite (3,6%). Como otros cultivos, el sorgo contiene algunos factores antinutricionales. Los granos contienen fitatos, que hacen que diversos minerales no estén biodisponibles en los animales y el hombre, en concentraciones de 170 a 380 mg/100 g de grano. El sorgo tiene un contenido abundante de polifenoles (ácidos fenólicos, taninos, flavonoides), que incrementan la resistencia del grano a las plagas y las infestaciones microbianas, y probablemente son compuestos cancerígenos. Otras sustancias tóxicas y contrarias a la nutrición asociadas al sorgo son los Inhibidores de las amilasas y las proteasas, bociógenos (interfieren con el aprovechamiento del yodo), desequilibrio de los aminoácidos, metales pesados y micotoxinas.
4. El sorgo y la incidencia de polifenoles se caracterizan por los tipos de grano. Es un cultivo único por su considerable contenido de taninos, que se producen en el revestimiento interior pigmentado llamado "testa" del sorgo de grano marrón. Ya se han mencionado las ventajas de su presencia (imparte tolerancia/resistencia a las plagas de insectos y enfermedades) y sus desventajas (antinutricional). Los sorgos de grano blanco no tienen taninos pero podrían contener pocos ácidos fenólicos. Los tipos de granos color crema/blanco/amarillo son los más utilizados en Nigeria (hasta un 75%) como alimento, mientras que los marrones se utilizan principalmente para elaborar bebidas locales tras su debida elaboración. Los tipos de grano rojo son intermedios sin contenido de taninos (no contiene testas) pero presentan algunos compuestos fenólicos en su pericarpio rojo (Daiber and Taylor, 1995). El procedimiento de elaboración utilizado en Nigeria, así como la fermentación, la trituration en húmedo y en seco, el malteado, la preparación al vapor, la extrusión, la preparación al horno o tostado, podrían ofrecer un importante campo de investigación de las micotoxinas. La malta es un producto industrial importante en Nigeria y la investigación de los polifenoles en las maltas debe ser una consideración importante. Esto es especialmente así porque proporciona una mejor nutrición que el cereal común al aumentarse *in vitro* la digestibilidad del almidón, el contenido de vitaminas y minerales (Ca, Mg, P y Zn), y la actividad enzimática (especialmente la alfa amilasa), así como la biodisponibilidad de algunas proteínas y, lo más importante, al disminuir el contenido de fitatos que son el factor antinutricional del sorgo en hasta un 75% (Rabie and Thiel, 1985).
5. En vista de la composición química mencionada, el sorgo es un cultivo importante producido tradicionalmente para suministrar energía alimentaria a las personas y los animales, así como para la producción de bebidas alcohólicas y, posteriormente, de biocombustibles. El sorgo tiene un potencial considerable como alimento y para elaborar bebidas, porque no contiene gluten y es apto para los celíacos, mientras que sus fenoles antioxidantes y sus ceras reductoras del colesterol ofrecen a la industria una fuente potencialmente importante de nutraceuticos (Taylor *et al.*, 2006. Se producen con sorgo tortas, galletas, pastas, un producto análogo al arroz precocido y aperitivos. Se elaboran comercialmente cervezas tipo lager y oscuras con sorgo. Aproximadamente el 12% de la producción nacional de sorgo en los Estados Unidos se destina a la fabricación de etanol y sus derivados (US Grains Council, 2010).
6. El sorgo es una fuente rica de diversas sustancias fitoquímicas como los taninos, ácidos fenólicos, antocianinas, fitoesteroles y policosanoles; estas sustancias fitoquímicas pueden repercutir significativamente en la salud humana (Awika and Rooney, 2004). La mayor parte de las sustancias fitoquímicas se concentran en fracciones del salvado que pueden separarse fácilmente del grano de sorgo y utilizarse para elaborar suplementos alimenticios, mejorar la calidad de los alimentos y en aplicaciones terapéuticas.
7. El sorgo (también conocido como maíz de Guinea) es un cereal que ha sido descuidado durante algún tiempo, porque fue reemplazado por el maíz como producto alimentario básico en muchos asentamientos rurales (Bandyopadhyay *et al.*, 2007). Sin embargo, su creciente perfil industrial como materia prima adecuada para las industrias agrícola y alimentaria lo ha hecho reaparecer en el mercado mundial, y en 2007 la producción de sorgo en África aumentó considerablemente, incluso en detrimento de la producción de arroz y trigo (FAOSTAT, 2010). Estos dos cultivos africanos tradicionales también han captado más atención debido a la reducción 4 y 8 veces prevista de riesgos de problemas relacionados con las AF si se sustituye el maíz con sorgo y mijo, respectivamente, como principales alimentos básicos (Bandyopadhyay *et al.*, 2007).

8. La búsqueda de fuentes de combustibles renovables también ha incrementado la demanda de sorgo. Por ser un cultivo tolerante a la sequía que contiene sustancias antimicrobianas, el sorgo ofrece a los agricultores la posibilidad de reducir los costos del riego y otros gastos agrícolas. El renovado interés en el sorgo también se debe a que es uno de los cultivos más tolerantes a la sequía y sus características de uso muy eficiente del agua lo convierten en opción para fortalecer la seguridad alimentaria en las regiones de África afectadas por la sequía y en el futuro para combatir la escasez de agua prevista en el mundo.

9. El sorgo es un cereal básico para más de 750 millones de personas en África, Asia y América Latina (CAC, 2011) que tradicionalmente se cultiva sobre todo en las regiones tropicales semiáridas para consumo humano y para la producción de bebidas alcohólicas local así como para piensos. A pesar de su resistencia inherente a la infestación de mohos debido a su alto contenido de principios fungicidas, fenoles y taninos (Audilakshmi *et al.*, 1999), la contaminación por hongos constituye una limitación biótica importante a la mejora y la producción mundial del sorgo. Se estima que las pérdidas económicas anuales en Asia y África, debidas al moho superan los 130 millones de USD (Chandrashekar *et al.*, 2000).

10. En vista de la creciente necesidad de este cultivo y de la amenaza que representan para su producción y utilización los hongos y sus toxinas, es necesario prestar más atención a los contaminantes tóxicos del cereal, pero la realidad es que hay poca información sobre las micotoxinas presentes en el sorgo, sin proporción al valor económico en ascenso de este cereal. Por lo tanto, la decisión adoptada por el Comité del Codex sobre Contaminantes en los Alimentos en su 5ª reunión, celebrada en La Haya, Países Bajos, en marzo de 2011, de preparar un documento de debate actualizado sobre la presencia de micotoxinas en el sorgo, es oportuna e importante. De esta manera, el presente documento de debate tiene como objetivo revisar los datos más recientes sobre la producción mundial de sorgo y su utilización, y los factores que influyen en la distribución de los hongos y micotoxinas en el sorgo en todo el mundo. Además se presenta un examen en profundidad de la contaminación por hongos y micotoxinas en este cultivo tolerante a la sequía en todo el mundo. La información que se generará sobre los tipos de hongos y micotoxinas que se producen en el sorgo será la base de la revisión del actual código de prácticas utilizado en la prevención de la contaminación de los cereales por micotoxinas.

PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL SORGO

Producción

11. El sorgo es el quinto cereal más cultivado y consumido en el mundo después del maíz, el arroz, el trigo y la cebada (FAOSTAT, 2010). Es uno de los cultivos que proporcionan más del 85% de calorías de los alimentos del mundo. Las últimas estadísticas de la FAO sobre la superficie y el volumen de producción del sorgo, que corresponden al año 2009, se presentan en el Cuadro 1. Según estas cifras, el sorgo se cultiva en 105 países en una superficie de 39.969.624 hectáreas en total en todo el mundo. Cuarenta y un países africanos producen sorgo, mientras que 20 países cultivan este cereal en América del Norte y del Sur. En Asia y el Medio Oriente, Europa y Oceanía, lo producen 25, 14 y 5 países, respectivamente. Más de la mitad de la superficie mundial de producción del sorgo está en África (60,6%), mientras que el 22,2% correspondía a países de Asia y el Medio Oriente, en el año en examen. En América, el Pacífico y Oceanía y Europa el sorgo cubre el 14,9%, 1,92% y 0,39% de la superficie mundial cultivada de sorgo, respectivamente. Los 10 países con mayor superficie dedicada al cultivo de sorgo, en orden decreciente, son: la India, el Sudán, Nigeria, el Níger, los Estados Unidos, México, Burkina Faso, Etiopía, Malí y Tanzania.

Productividad

12. El sorgo es un cultivo con una productividad tan alta que en los Estados Unidos se ha registrado un rendimiento de hasta 20,1 toneladas por hectárea (US, Grain Council, 2010) pero, paradójicamente, la mayoría de los países con una gran superficie productora de sorgo obtienen rendimientos bajos. Los países africanos que representan la mayor parte de la superficie donde se produce el sorgo presentan el rendimiento inferior, de 0,904 toneladas por hectárea, seguidos de Asia y el Medio Oriente, con una productividad de 1,096 toneladas por hectárea.

Los países desarrollados de Europa, el Pacífico y América tienen un rendimiento extraordinario de 4,451, 3,860 y 3,561 toneladas por hectárea, respectivamente, a pesar de su clima templado, que no es favorable para producir el sorgo. Jordania, Argelia, Israel, Italia, Egipto, Francia, Turquía, Uruguay, Uzbekistán y Omán, los Estados Unidos, Argentina, México, Australia, China y Brasil (Cuadro 1) tienen la mayor producción de sorgo/ha en el mundo, en orden decreciente. Las razones presentadas de la baja producción de sorgo en las zonas subdesarrolladas de África y Asia, a pesar de su favorable clima tropical, son el cultivo de tierras marginales, el uso de pocos fertilizantes, las condiciones agroclimáticas adversas (inundaciones, falta de lluvias o sequía durante el período de crecimiento de los cultivos), las políticas desfavorables del gobierno que privilegian otros cultivos comerciales y recursos minerales (Waliyar *et al.*, 2007). La proliferación de insectos, roedores, aves y hongos explican las considerables pérdidas de granos en el campo. Otros factores, como el uso continuo de variedades de polinización abierta en lugar de híbridos, la inestabilidad política y la reducción de la mano de obra en las fincas a consecuencia de la migración de trabajadores hacia los asentamientos urbanos a fin de encontrar pastizales más verdes también explican la baja productividad observada en África y Asia.

13. En lo que respecta a la producción, como continente, África es el mayor productor de sorgo, con 21,9 millones de toneladas anuales, lo que equivale al 39,044% de la producción mundial, seguida de América (37,5%), Asia/ Medio Oriente (17,4%), Oceanía (4,8%) y Europa (1,2%). Según FAOSTAT, (2010), en 2009 se produjeron 56,0 toneladasde sorgo en el mundo y los principales productores durante el año fiscal 2009 fueron los Estados Unidos (9,7 toneladas), la India (7,2 toneladas), México (6,1 toneladas), Nigeria (5,2 toneladas), el Sudán (4,1 toneladas), Etiopía (2,9 toneladas) y Australia (2,6 toneladas). Otros productores son Brasil (1,8 toneladas), Argentina (1,8 toneladas) y China (1,6 toneladas). Sin embargo, datos recientes de Consejo de los Cereales de los Estados Unidos de América (2010) revelan que Nigeria fue el principal productor de sorgo en el año fiscal 2010, con una producción de 11,5 toneladas. Los otros 10 productores principales del mundo fueron: los Estados Unidos (9,7 toneladas), la India (6,9 toneladas), México (6,2), Argentina (3,6), el Sudán (2,6), Etiopía (2,0), el Brasil (1,8 toneladas), China (1,6 toneladas) y Australia (1,6 toneladas). Los otros 95 países productores recogieron un total de 11,6 toneladas, con lo que el total de la producción mundial de sorgo en 2010 ascendió a 59,5 toneladas.

Cuadro 1: Principales países productores de sorgo en el mundo: 2009

País	Producción (millones de toneladas)	Superficie (hectáreas)	% de la producción mundial	productividad (toneladas/hectárea)
EE UU	9.728.220	2.233.890	17,341	4,354
la India	7.250.000	7.530.000	12,923	0,962
México	6.108.090	1.690.520	10,888	3,613
Nigeria	5.270.790	4.736.730	9,395	1,112
Sudán	4.192.000	6.652.500	7,472	0,630
Etiopía	2.971.270	1.618.680	5,290	1,837
Australia	2.691.790	766.986	4,798	3,509
Brasil	1.853.930	793.027	3,304	2,337
Argentina	1.805.220	456.510	3,217	3,954
China	1.677.319	559.542	2,989	2,997
Burkina Faso	1.521.470	1.653.120	2,700	0,920
Malí	1.465.620	1.091.040	2,612	1,343
Egipto	880.000	158.000	1,568	5,569
Níger	738.661	2.544.720	1,316	0,290
Tanzania	709.000	874.219	0,126	0,811
Chad	600.963	850.000	1,070	0,707
Camerún	600.000	500.000	1,060	1,200
Uganda	497.000	329.000	0,885	1,510
Venezuela	370.000	217.000	0,659	1,705
Ghana	350.550	267.200	0,624	1,311
Otros, entre ellos:	4.816.367	4.446.940	9,763	1,083
Jordania	1.060	77	0,0018	13,766
Israel	37.500	6.000	0,066	6,250
Argelia	389	43	0,0006	9,046
Italia	243.400	39.900	0,433	6,100
Francia	312.819	58.002	0,0577	5,393
Turquía	390	76	0,00069	5,131
Uruguay	324.200	68.100	0,577	4,760
Uzbekistán	20.000	4.500	0,035	4,444
Omán	9.700	2.200	0,0172	4,0409

Fuente: FAOSTAT (2010)

Utilización

14. El sorgo se cultiva para obtener alimentos, piensos y bebidas alcohólicas y no alcohólicas, alimentos de malta y biocombustibles. La mejora de su perfil agrícola e industrial ha incrementado la producción y la productividad mundial desde 1961 hasta la fecha y lo ha incorporado en la lista actual de los cultivos de exportación de muchos países productores.

15. La información oficial actual de la FAO sobre la utilización y el comercio mundial del sorgo corresponde al año fiscal 2007 (FAOSTAT, 2010). Estos datos documentan que este cereal se destina más a piensos que a la alimentación humana. Mientras que 58 países utilizaron 26,1 toneladas (el 41,7% de la producción mundial en 2007) de sorgo como alimento humano en el año de estudio, 107 países destinaron 27,5 toneladas (43,9%) a la producción de piensos. Unos estudios demostraron que algunos productos derivados de la fermentación de sorgo con moho tienen un valor nutritivo y su uso como piensos es inocuo (Siruguri *et al.*, 2009). Nigeria, la India, el Sudán, Etiopía, Burkina Faso, China, Yemen, Malí, Níger y el Chad fueron los principales consumidores humanos de este cereal. Sin embargo, los países desarrollados, como México, los Estados Unidos, Australia, Argentina y España son los principales países del mundo que destinan el sorgo a los piensos. Esto invariablemente significa que 8,95 toneladas de sorgo se destinan a fines industriales y esto representa el 14,4% de la producción mundial.

16. La entusiasta demanda de sorgo es evidente en que mientras que sólo 59 países exportan (7,6 t), 110 países importan 7,4 t para satisfacer sus necesidades de sorgo. Del mismo modo, todos los continentes, comprendida África, el mayor productor de sorgo, importan este cereal (Cuadro 2). Los principales exportadores son los principales productores de sorgo, pero no lo usan como alimento, y son: los Estados Unidos, Argentina, China, Brasil y los Países Bajos. Los principales importadores, por otra parte, son los que utilizan el sorgo ya sea como alimento o para uso industrial, y son: México, España, Japón, los Países Bajos y Bélgica. Sin embargo, los datos recientes del Consejo de los Cereales de los Estados Unidos (2010) revelan que los Estados Unidos (4,0 t), Argentina (1,5 t), Australia (0,3 t), la India (0,7 t) y Nigeria (0,5 t) son los principales exportadores de sorgo en el año 2010. Otros fueron Brasil, China y Sudáfrica. De lo anterior se deduce que la producción de sorgo, la productividad, el consumo y la utilización industrial van en aumento, pero la oferta no es proporcional a la creciente demanda de la población mundial en acelerado crecimiento. Esto justifica el renovado interés en este cereal.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE MOHOS Y EN LA PRODUCCIÓN DE MICOTOXINAS

Factores favorables

17. Las enfermedades humanas y animales de origen alimentario son de interés sanitario y económico. Una de las principales limitaciones bióticas para la producción de alimentos y, por lo tanto, la seguridad alimentaria, son los hongos. Los hongos son la principal causa del deterioro de los cereales y las semillas almacenados, y ocupan el segundo lugar después de los insectos como causa de descomposición y pérdidas. En el Cuadro 3 se documenta y presenta bien la susceptibilidad del *Sorghum bicolor* a los hongos en todo el mundo. El cultivo de variedades susceptibles, la siembra de plantas en excesiva proximidad, y las lluvias extemporáneas durante la maduración y la cosecha de los cereales son los factores anteriores a la cosecha que favorecen la contaminación fúngica de los productos agrícolas (Bhat *et al.*, 2000). Según los mismos autores, otras condiciones que propician la formación de moho en el campo es la presencia de plantas que sufren otras enfermedades y daños físicos en las semillas causados por depredadores (insectos, aves, roedores, etc.). Los trabajadores señalaron también como condiciones postcosecha que propician la formación de hongos en los cultivos: la cosecha de cultivos demasiado maduros, el retraso del secado y los daños que se producen en los grano durante la trilla.

18. El almacenamiento de cereales cosechados a >10% de contenido de humedad, y durante un período prolongado en instalaciones de almacenamiento deficientes propician la proliferación de mohos en los cereales (Ominski *et al.*, 1994, Abdalla, 1998, Ahmed *et al.*, 2009). De igual manera, la práctica insalubre de mezclar granos de diferentes categorías con el fin de mejorar la calidad de los que están contaminados, especialmente si alguno de ellos contiene un gran número de esporas de hongos que inoculará a los granos buenos y probablemente contaminará otros que no tenían la toxina (Wagacha and Muthomi, 2008). Otros factores convincentes presentadas por los autores que agravan la presencia de hongos y micotoxinas en África en particular son que el público no está informado sobre la existencia de las toxinas; ausencia total o falta de aplicación de límites reglamentarios; y la introducción de alimentos contaminados en la cadena alimentaria que se ha vuelto inevitable debido a la escasez de alimentos causada por la sequía, las guerras y otros factores de inseguridad socioeconómica y política

Cuadro 2: Producción regional, consumo, exportación e importación de sorgo

Región	Número de países productores de sorgo en la región	Producción (t)	Superficie (ha)	% de la producción mundial	Productividad (t/ha)	Consumo humano interno (alimentos en t)	Consumo animal interno (piensos en t)	Exportaciones (t)	Otros usos (t)	Importaciones (t)
África	41	21.903.220	24.226.758	39,044	0,904	17.563.058 (67,8%)	2.820.536 (10,8%)	130.408 (0,38%)	4.787.424 (18,2%)	508.090 (1,9%)
América	20	21.056.189	5.912.834	37,534	3,561	506.148 (1,9%)	16.365.269 (60,1%)	7.019.224 (26,3%)	777.025 (2,9%)	2.114.242 (7,8%)
Asia/Medio Oriente	25	9.768.970	8.910.465	17,414	1,096	8.097.633 (66,5%)	2.949.176 (27,5%)	283.070 (2,6%)	831.675 (7,7%)	1.422.622 (11,6%)
Europa	14	674.497	151.526	1,202	4,451	589 (0,014%)	3.636.900 (91,2%)	331.962 (8,3%)	16.669 (0,4%)	3.338.380 (83,7%)
Oceanía	5	269.5384	768.041	4,804	3,860	No hay datos	1.755.497 (96,8%)	20.800 (1,1%)	No hay datos	36.043 (1,9%)

Fuente: FAOSTAT, 2010

Nota: Los datos de la producción, la superficie, el% mundial y la productividad corresponden al año 2009.

Las cifras del consumo interno como alimentos y piensos, las exportaciones, otros usos y las importaciones corresponden al año fiscal 2007.

Los porcentajes (%) que aparecen entre paréntesis corresponden a la suma acumulativa del total del sorgo producido e importado en el continente.

Otros usos son los desechos, los productos elaborados y los usos industriales.

Los hongos antes y después de la cosecha

19. Los hongos observados en los cereales antes se clasificaban en tres grupos, a saber: del campo, del almacenamiento y hongos de descomposición avanzada. Los hongos del campo invaden las semillas en desarrollo y maduras antes de la cosecha y son las siguientes especies: *Alternaria*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Cladosporium*, *Chaetomium* y *Curvularia*, en orden de importancia (Javis, 1971). Todos los hongos del campo requieren un elevado contenido de humedad en las semillas, de entre 20% y 25% de contenido de agua para crecer y, por lo tanto, se denominan hongos hidrofílicos (Lillehoj, 1973). El mismo trabajador señaló como especies representativas de los hongos del campo las siguientes: *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium graminearum*, *Rhizopus nigricans* y *Trichoderma lignorum*.

20. Los hongos de almacenamiento que invaden los granos tras la recolección y en el almacenamiento son los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Phoma*, *Sporendonema*, algunas especies de *Fusarium* y unas cuantas especies de levaduras (Javis, 1971 and Elegbede, 1978). Pueden formarse en sustratos en los que el contenido de humedad se ha reducido a del 13% al 18%, equivalente a una humedad relativa de equilibrio del 70% al 85% (Javis, 1971). Las especies representativas de este grupo, también conocidos como hongos mesofílicos de almacenamiento, son: *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *Paecilomyces varioti*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. citrinum* y *P. viridicatum*. Otros son *Aspergillus ochraceus* y *A. versicolor* (Lillehoj, 1973). Los principales factores que influyen en la formación de este grupo de hongos son el contenido de humedad del grano almacenado, la temperatura, el periodo de almacenamiento, el grado de invasión anterior antes de la llegada al sitio de almacenamiento, la cantidad de materia ajena y las actividades de insectos y ácaros (Ominski *et al.*, 1994).

21. Los hongos de descomposición avanzada requieren el mismo rango de humedad general que los hongos del campo, pero rara vez se forman en las semillas en el campo y constan de los géneros *Fusarium* y *Chaetomium*. Estos hongos se forman después de que otros microorganismos hayan producido daños considerables (Javis, 1971 y Lillehoj, 1973). Sin embargo, es importante señalar que cuando se encontraron hongos de campo en cereales almacenados y viceversa (Mycok and Berjak, 1999), se desaconsejó la anterior clasificación rígida.

22. Aunque la agrupación en hongos de campo y hongos de almacenamiento ya no se usa, cabe destacar que los datos presentados en el Cuadro 3 indican los hongos *Phoma sorghina*, *Claviceps sorghi*, *C. africana*, *Alternaria spp*, *Curvularia lunata*, *Aspergillus flavus* y *Fusarium verticillioides* como hongos de campo típicos del sorgo en todo el mundo, mientras que las especies *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. Parasiticus*, *A. niger* y *A. ochraceus*), *Penicillium* y varias especies de *Fusarium* como hongos representativos de cereales en almacenamiento.

MICOFLORA Y MICOTOXINAS DEL SORGO Y LOS PRODUCTOS DE SORGO.

23. Los principales hongos asociados al sorgo en Nigeria, son especies de *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phoma*, *Alternaria*, *Curvularia*, *Chaetomium* y *Helminthosporium* (Mantle and Waight, 1968, Tyagi, 1974, Elegbede, 1978, Dadá, 1979, Salifu, 1981, Atanda, 1999 y Makun *et al.*, 2009a). Otros géneros representados son *Colletotrichum*, *Periconia*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Trichotecium*, *Trichoderma* y *Cephalosporium*. Los hongos de campo predominantes encontrados en el sorgo por los mismos trabajadores en el país son: *Aspergilli*, *Fusarium spp*, *Curvularia spp*, *Phoma sorghina* y *Aspergillus* (Atanda, 1999), y los señalados de almacenamiento son principalmente especies de *Fusarium*, *Penicillium*, *Phoma* y *Aspergillus*, que también representan la mayor parte de los hongos que atacan la malta de sorgo.

24. En el Sudán, los hongos más presentes en los granos son: *Aspergillus*, *Rhizobus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phoma*, *Alternaria* y *Curvularia* (Abdel-Rahim *et al.*, 1989, Abdalla, 1998, Abu Agla, 2002, Ahmed *et al.*, 2005, Ahmed *et al.*, 2008, Ahmed *et al.*, 2009). Las especies predominantes observadas en el campo por estos trabajadores fueron *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. ochraceus*, *Fusarium moniliformae*, *Penicillium sp.*, *Phoma sorghi*, *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuis* y *Curvularia lunata*. Los hongos más frecuentemente aislados de cereales almacenados en los mismos estudios fueron *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. ochraceus*, *Rhizobus stolonifer*, *Fusarium moniliformae*, *Penicillium sp.*, *Phoma sorghi*, *Alternaria alternata* y *Curvularia lunata*.

25. La formación hongos y la producción de micotoxinas en el sorgo es un fenómeno mundial y se presenta en el Cuadro 3. Connole y Hill, 1970 aislaron especies de *Aspergillus niger*, *Penicillium* y *Cladosporium* en cereales en el Canadá. Los hongos encontrados en sorgo en los Estados Unidos incluyen especies de *Claviceps*, *Fusarium*, *Alternaria* y *Epicoccum* (Porter *et al.*, 1974) mientras que las especies de *Alternaria*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Helminthosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma verticillium*, *Scopulariopsis*, *Trichothecium*, *Cephalosporium*, *Mucor*, *Rhizopus* y *Thermomyces* son los hongos contaminantes de los cereales en Japón (Uraguchi and Yamazaki, 1978).

26. Bandyopadhyay *et al.*, (2000) señalaron la micoflora y las micotoxinas que contaminan el sorgo en todo el mundo y observaron que destacan entre los géneros de hongos productores de micotoxinas los siguientes: *Alternaria*, *Drechslera*, *Cladosporium*, *Olpitrichum*, *Fusarium*, *Curvularia* y *Gibberella*. En un examen crítico de la amenaza del cornezuelo en la industria mundial de sorgo, Bandyopadhyay *et al.* (1998) exponen que hay tres especies de *Claviceps* que infectan el sorgo, con pérdidas registradas de entre 10% y 100% de la producción mundial de semillas híbridas, estas especies son: *Claviceps africana*, *C. Sorghi* y especies de *Claviceps* japonés. Según este informe, la cepa *C. africana*, productora de dihidroergosina, está muy difundida en América del Norte y del Sur, África, Asia y Australia, mientras que la cepa no toxigénica *C. sorghi* es común en Asia, y la especie japonesa de *Claviceps* que segrega el alcaloide paliclavine aparentemente se limita al Japón.

27. En relación con la distribución mundial de los hongos del sorgo, mientras que las especies de *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Alternaria* son frecuentes y naturales en el clima desértico y tropical de África, Asia y el Medio Oriente, las especies de *Fusarium* están generalizadas en Europa y América, y las especies de *Alternaria* y *Fusarium* son frecuentes en Oceanía (Cuadro 3).

28. Sobre la base de los hongos toxigénicos aislados del cereal en todo el mundo, hay más de 30 micotoxinas que los pueden contaminar (Cuadro 3), a saber: alternariol, metiléter de alternariol, altenueno, altertoxinas, ácido tenuazónico, aflatoxinas, ácido ciclopiazónico, ocratoxinas, viridicatin, citrinina, patulina, roquefortina, luteoskirina, ciclocolorotina, moniliformina, citocalasina, fumonisinas, rizonina y rizoxina. Otras son: esterigmatocistina, cladosporina, emodina, zearalenona, curvularina, quetomina, ácido 3-nitropropiónico, diacetoxiscirpenol, nivalenol, gliotoxinas, alcaloides de cornezuelo y toxinas T-2. También se incluyen las siguientes: beauvericina, fusaproliferina, fusarenona X, giberelinas, deoxinivalenol y neosolaniol.

Cuadro 3: Resumen de los informes de hongos del sorgo potencialmente tóxicos en todo el mundo

Región	País	Producto	Especies de hongos tóxicos	Micotoxinas potenciales	Bibliografía
En todo el mundo			<i>Aspergillus flavus</i>	aflatoxinas	CAST, 2003
			<i>A. versicolor</i>	ácido ciclopiazónico	
			<i>A. ochraceus</i>	ocratoxinas	
			<i>Alternaria</i>	ácido tenuazónico	
			<i>Penicillium cyclopium</i>	ácido ciclopiazónico	
			<i>P. viridicatum</i>	viridicatina	
			<i>P. citrinum</i>	citrinina	
			<i>P. expansum</i>	patulina/roquefortina	
			<i>P. islandicum</i>	luteoskirina/cicloclorotina	
			<i>P. urticae</i>	patulina/roquefortina	
África	Burkina Faso	Sorgo en el campo	<i>Fusarium thapsinum</i>	monoliformina	Glenn, (2007)
			<i>Colletotrichum graminicola</i>	-----	Neye and Le Normand, (1998). Somda <i>et al.</i> (2007).
			<i>Phoma sorghina</i>	citocalasinas/tenuazonatos	
			<i>Fusarium verticillioides</i>	fumonisinias	
	Nigeria	Granos de sorgo	<i>Rhizopus arrhizus</i>	tremorgena, rizonina/rizoxina	Atanda and Akano, 1999).
			<i>Aspergillus oryzae</i>	patulina	
			<i>A. niger</i>	ocratoxinas	
			<i>A. flavus</i>	aflatoxinas/esterigmatocistina	
			<i>A. tamarii</i>	aflatoxinas/ácido ciclopiazónico	
			<i>Penicillium citrinum</i>	citrinina	
			<i>Fusarium verticillioides</i>	fumonisinias/ciadosporina	
			<i>Cladosporium fulvum</i>	emodina	
			<i>Syncephalastrum racemosum</i>	-----	Elegbede, (1978)
				AFs, ST, OTA, CA etc	

Región	País	Producto	Especies de hongos tóxicos	Micotoxinas potenciales	Bibliografía
			<i>Aspergillus</i>		
			<i>Fusarium</i>	ZEA, FB, MON,	
			<i>Penicillium</i>	OTA, PAT, CIT, PA, CA etc	
			<i>Curvularia</i>	curvularina, citochalasina B	
			<i>Phoma</i>	citocalasina/tenuazonatos	
			<i>Alternaria</i>	AOH,AME/ALT/ATX/TA	
			<i>Chaetomium</i>	quetomina	
			<i>Helminthosporium</i>	citocalasinas	
			<i>Colletotrichum</i>		
			<i>Periconia</i>	periconina A y B(inactiva)	
			<i>Rhizopus</i>	rizonina, rizoxina, tremorgeno	
			<i>Mucor</i>	3-nitroproiónico, tremorgenos	
			<i>Trichotecium</i>	tricotecenos	
			<i>Cephalosporum</i>	tremorgenos	
			<i>Phoma sorgina</i>	citocalasina/tenuazonatos	Dada, (1979)
			<i>Fusarium semitectum</i>	zearalenona/diacetoscirpenol	Salifu, (1981)
			<i>F. moniliforme</i>	FB, MON, FUS.	
			<i>F. equiseti</i>	ZEA,MON,DAS,NIV	
					Makun <i>et al.</i> (2009 ^{ab})
			<i>Aspergillus parasiticus</i>	aflatoxinas	
			<i>A.fumigatus</i>	gliotoxina	
			<i>Alternaria alternate</i>	AOH,AME/ALT/ATX/TA	
					Abu Agla (2002)
			<i>Aspergillus niger</i>	ocratoxinas	
			<i>Aspergillus flavus</i>	aflatoxinas	
			<i>Aspergillus ochraceous</i>	ocratoxinas	
			<i>Phoma sorghina</i>	citocalasinas	
			<i>Alternaria tenuis</i>	alternariol	Abdalla (1998)
			<i>Aspergillus spp.</i>	aflatoxinas, ocratoxinas	
	Sudán	Granos de sorgo			

Región	País	Producto	Especies de hongos tóxicos	Micotoxinas potenciales	Bibliografía
			<i>Penicillium</i> spp	patulina	
			<i>Alternaria</i> sp.	alternariol	
			<i>Fusarium</i> sp.	fumonisin	
			<i>Rhizobus</i> sp.	tremorgenos, rizonina, rizoxina	
					Ahmed <i>et al.</i> (2005)
			<i>Aspergillus niger</i>	ocratoxinas	
			<i>Aspergillus flavus</i>	aflatoxinas	
			<i>Aspergillus ochraceous</i>	ocratoxinas	
			<i>Penicillium</i> sp.	tricotecenos, fumonisin	
			<i>Fusarium moniliformae</i>		
			<i>Curvularia lunata</i>	curvularina	
					Ahmed <i>et al.</i> (2008)
			<i>Aspergillus niger</i>	ocratoxinas	
			<i>Aspergillus flavus</i>	aflatoxinas	
			<i>Aspergillus ochraceous</i>	ocratoxinas	
			<i>Phoma sorghina</i>	citocalasina	
					Ahmed <i>et al.</i> (2009)
			<i>Aspergillus niger</i>	ocratoxinas	
			<i>Aspergillus flavus</i>	aflatoxinas	
			<i>Penicillium</i> sp.	patulina	
			<i>Fusarium moniliformae</i>	tricotecenos	
			<i>Curvularia lunata</i>	curvularina	
			<i>Rhizobus stolonifer</i>	tremorgenos, rizonina, rizoxina	
					Bandyopadhyay <i>et al.</i> (1998)
			<i>Claviceps sorghi africana</i>	alcaloides del cornezuelo	
			<i>Aspergillus circinatus</i>		ICRISAT, 2011
	Camerún				
	Sudáfrica				
	Zimbabwe				
	(muchos otros países)				

Región	País	Producto	Especies de hongos tóxicos	Micotoxinas potenciales	Bibliografía
	Sudáfrica		<i>Alternaria raphani</i>		
			<i>A. tenuisinae</i>	AOH,AME/ALT/ATX/TA	Soliman, (2003)
			<i>Aspergillus flavus</i>	AOH,AME/ALT/ATX/TA	
	Egipto		<i>Cunninghamella elegans</i>	ocratoxinas	
			<i>Drechslera myaki</i>		
			<i>Fusarium graminearum</i>	esterigmatocistina	
			<i>F. verticillioides</i>	ZEA, DON, NIV, FUS	
			<i>F. solani</i>	FB, MON, FUS.	
			<i>Rhizopus stolonifer</i>	toxinas T-2	
			<i>Penicillium digitatum</i>	tremorgenos, rizonina, rizoxina	
			<i>P. notatum</i>		
				roquefortina	
			<i>Fusarium chlamydosporum</i>		
			<i>F. verticillioides</i>	clamidosporas	Onyike and Nelson, (1992)
			<i>F. equiseti</i>	FB, MON, FUS.	
			<i>F. graminearium</i>	ZEA,MON,DAS,NIV	
			<i>F. nygamai</i>	ZEA, DON, NIV, FUS	
	Nigeria		<i>F. semitectum</i>	FB, MON, BEA	
	Lesotho		<i>F. compactum</i>	ZEA, MON	
	Zimbawe		<i>F. dimerum</i>	neosolaniol	
			<i>F. avenaceum</i>		
			<i>F. lateritium</i>	MON, BEA, FUS	
			<i>F. sambucium</i>	DAS, Neosolaniol	
			<i>F. proliferatum</i>	tricotecenos (DAS)	
			<i>F. sporotrichioides</i>	FB/MON/FP/BEA	
			<i>F. oxysporum</i>	HT2, T2, DAS, BEA,FUS	
			<i>F. napiforme</i>	ZEA/tricotecenos	
				FB/MON	
					Mansuetus <i>et al.</i> (1997).
			<i>Fusarium fugikuroi</i>		

Región	País	Producto	Especies de hongos tóxicos	Micotoxinas potenciales	Bibliografía
				FB, GB, MON, BEA	
	Tanzanía		<i>Phoma</i> <i>Fusarium</i> <i>Curvularia</i>	citocalasina/tenuazonatos FB, DON, NIV,DAS,T2 etc curvularina	Ratnadass <i>et al.</i> (2003).
	África occidental y central				
América	EE UU	Sorgo en el campo	<i>Claviceps africana</i>	alcaloides del cornezuelo	Bandyopadhyay <i>et al.</i> (1998). ICRISAT, 2011
	EE UU	"	<i>Aspergillus circinatus</i>		
	Brasil	Sorgo en el campo y almacenado	<i>A. flavus</i> <i>F. verticillioides</i> <i>F. proliferatum</i>	aflatoxinas FB, MON, FUS. FB/MON/FP	Pitt and Hocking, (2009)
	Brasil	Granos de sorgo	<i>Cladosporium</i> <i>Helminthosporium</i> <i>Fusarium verticillioides</i>	emodina esterigmatocistina FB, MON, FUS	Reia <i>et al.</i> (2010).
	Argentina		<i>Fusarium napiforme</i>	FB, MON, FUS.	Glenn, (2007)
Asia/Medio Oriente	La India	Sorgo en el campo	<i>A. flavus</i> <i>Curvularia lunata</i> <i>F. verticillioides</i>	aflatoxinas curvularina fumonisinas	Reddy <i>et al.</i> (1985).
	La India	Sorgo	<i>Aspergillus</i> <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> <i>Diplodia</i>	AF, ST, OTA, etc AOH,AME/ALT/ATX/TA emodina	ICRISAT, 2008

Región	País	Producto	Especies de hongos tóxicos	Micotoxinas potenciales	Bibliografía
			<i>Fusarium</i>	FB, DON,NIV,DAS,T2 etc	
			<i>Curvularia</i>	curvularina	
			<i>Phoma</i>	ctocalasina/tenuazonatos	
			<i>Penicillium</i>	FB, DON,NIV,DAS,T2 etc	
	Asia sudoriental	Sorgo en el campo	<i>A. flavus</i>	aflatoxinas	Pitt and Hocking, (2009)
			<i>Curvularia lunata</i>	curvularina	
			<i>C. pallescens</i>	curvularina	
			<i>Alternaria alternata</i>	AOH,AME/ALT/ATX/TA	
			<i>A. Longissima</i>	AOH,AME/ALT/ATX/TA	
			<i>F. verticillioides</i>	fumonisin/moniliformina	
			<i>F. semitectum</i>	ZEA, MON	
			<i>Lasiodiplodia theobromae</i>		
			<i>Nigrospora oryzae</i>		
			<i>Phoma species</i>	citocalasina/tenuazonatos	
	la India		<i>Fusarium proliferatum</i>	NIV, DON, DAS, Fus-X	Lincy <i>et al.</i> (2011).
			<i>F. sacchari</i>		
			<i>F. nelsonii</i>		
			<i>F. equiseti</i>		
			<i>F. asiaticum</i>		
	la India		<i>Fusarium proliferatum</i>	FB, MON, FUP	Sharma <i>et al.</i> (2011).
			<i>F. sacchari</i>		
			<i>F. andiyazi</i>		
			<i>F. thapsinum</i>		
			<i>F. equiseti</i>		
Europa	Francia		<i>Aspergillus circinatus</i>		ICRISAT, 2011
Oceanía	Australia		<i>Aspergillus circinatus</i>		ICRISAT, 2011

Región	País	Producto	Especies de hongos tóxicos	Micotoxinas potenciales	Bibliografía
	Australia	Sorgo en el campo y almacenado	<i>Alternaria alternata</i> <i>Alternaria infectoria</i> <i>Phoma sorghina</i> <i>Bipolaris sorghicola</i> <i>Exserohium rostratum</i> <i>Cladosporium spp.</i>	AOH, AME/ALT/ATX/TA AOH, AME/ALT/ATX/TA citocalasina/tenuazonatos esterigmatocistina emodina	Pitt and Hocking, (2009)
	Australia		<i>Fusarium nygamai</i>	FB, MON, BEA	Glenn, (2007)

Nota: AOH (alternariol), AME (metiléter de alternariol), ALT (altenueno), ATX (altertoxina), TA (ácido tenuazónico) aAcDON = mono-acetildeoxinivalenoles (3-AcDON, 15-AcDON); AcNIV = mono-acetilnivalenol (15-AcNIV); BEA = beauvericina; iAcDON = di-acetildeoxinivalenol (3,15-AcDON); DAcNIV = diacetilnivalenol (4,15-AcNIV); DAS = diacetoxiscirpenol; DON = deoxinivalenol (Vomitoxina); EN = enniatinas; FB₁ = fumonisinas B₁; FB₂ = fumonisinas B₂; FB₃ = fumonisinas B₃; FUP = fusaproliferina; FUS = fusarenona-X (4-Acetil-NIV); FUC = fusarocromanona; HT2 = toxina HT-2; MAS = monoacetoxiscirpenol; MON = moniliformina; NEO = neosolaniol; NIV = nivalenol; T2 = T-2 toxina; ZEA = zearalenona; ZOH = zearalenolas (isómeros α y β).

29. No obstante las más de 30 micotoxinas previstas del sorgo (véase § 27, arriba), las más frecuentes en el sorgo y sus productos en todo el mundo, como se muestra en el Cuadro 4 son las aflatoxinas, la zearalenona y las ocratoxinas A, las fumonisinas, la moniliformina, el deoxinivalenol y alcaloides del cornezuelo, si bien también se han aislado en este cereal alternariol, altenueno, ácido tenuazónico, nivalenol, patulina, esterigmatocistina y toxina T-2. Ryle (2010) notificó la presencia de ergosina en Australia. A pesar de la falta de datos de Europa sobre las micotoxinas, las aflatoxinas son las más problemáticas en el sorgo en todo el mundo, ya que se han encontrado en cuatro de cinco de las regiones del mundo (Cuadro 4) en concentraciones graves de hasta 1.164 µg/kg en sorgo con mohos de Nigeria (Makun *et al.*, 2009a) y, por lo tanto, se les debe prestar una gran atención.

30. En cuanto al predominio, junto a las aflatoxinas figuran las ocratoxinas, la zearalenona y las fumonisinas (Cuadro 4). La información de la incidencia de las ocratoxinas es principalmente de África, y la mayor cantidad documentada en el cereal de Etiopía figuró en concentraciones inquietantes de 2106 µg/kg (Ayalew *et al.*, 2006). En cereales de África y Asia también se aisló zearalenona y la mayor concentración, de 7.260 µg/kg, se observó en cereales importados en Japón (Aoyama *et al.*, 2001). Se documentó la presencia de fumonisinas en cereal de Etiopía (Ayalew *et al.*, 2006), la India (Waliyar *et al.*, 2007) y los EEUU (Truckness *et al.*, 2000) en concentraciones de bajas a moderadas, de 0 a 2117 µg/kg.

31. La presencia de toxinas de *Alternaria* en concentraciones significativas en alimentos a base de sorgo y en piensos de Sudáfrica (Sydenham *et al.*, 1988), la India (Ansari and Shrivastava, 1990) y los EE UU (Hagler *et al.*, 1987) y el alto predominio de los *Alternaria spp* como hongos del sorgo en el campo en todo el mundo (Cuadro 3) debería dirigir más atención a estos hongos. Asimismo, la frecuencia de la micotoxina hemorrágica muy tóxica, la toxina T-2, en cantidades de importancia toxicológica de entre 1.670 a 15.000 µg/kg en sorgo de la India (Bhavanishankar y Shantha, 1987) es motivo de gran preocupación sanitaria. Aparte de la toxina T-2, las enniatinas son otras micotoxinas de menor importancia del *Fusarium* que se observaron en concentraciones alarmantes de hasta 683.900 µg/kg en sorgo y en productos a base de sorgo de Túnez (Souhelb *et al.*, 2011).

32. A pesar de haberse demostrado que el sorgo, materia prima para piensos, sufre contaminación de diversas toxinas, procede examinar la presencia de micotoxinas en los piensos ya que la elaboración puede modificar las concentraciones presentes en éstos respecto a las que se encuentran en las materias primas. Más aún, la producción pecuaria comercial es una industria importante en el mundo y, por lo tanto, los piensos se han convertido en un importante medio de exposición humana a las toxinas transmitidas por los alimentos. En vista de las diferencias previstas en el contenido de toxinas entre las materias primas y los piensos, que se traducirán en riesgos distintos de exposición a partir de los materiales, los pocos informes sobre la presencia de AME (≥ 2.250 µg/kg) en los piensos a base de sorgo para porcinos (Sydenham *et al.*, 1988) y de OTA (≥ 38 µg/kg) en los piensos de sorgo para aves de corral (Zafar *et al.*, 2001) en niveles toxicológicos significativos requiere que los agricultores, los fabricantes y los consumidores utilicen medios de análisis rápidos y sensibles para detectar la presencia de micotoxinas a fin de controlar la calidad de los productos en la granja.

33. Otros alimentos elaborados a partir de sorgo que contienen micotoxinas en concentraciones variables son los jarabes y las harinas de sorgo. En los EE UU, Trucksess *et al.*, (2000) aislaron fumonisinas B₁ en 1 de cada 35 muestras de miel de sorgo recogidas en 15 estados, en una concentración de 0,12 µg/g (LOQ de 0,1 µg/g). Mientras que en Brasil, Campos *et al.*, (2008) aislaron de harinas de sorgo, *Aspergillus spp.* (75,3%) *Alternaria spp.* (22,3%) y *Fusarium spp.* (2,4%). El 77% de las manchas de *A. flavus* resultaron ser productoras de aflatoxinas. Todas las muestras analizadas estaban contaminadas con aflatoxinas, en cantidades de 0,1 a 23,8 µg/kg.

34. Se encontraron micotoxinas, principalmente aflatoxinas, ocratoxina A y las toxinas de *Alternaria*, en granos de sorgo en el Sudán. Las aflatoxinas B₁, B₂ y la ocratoxina A, son contaminantes comunes, mientras que la aflatoxina G₁ sólo se detectó en granos de sorgo utilizado como piensos (Abdalla, 1998, Ahmed *et al.*, 2009, Elzubir *et al.*, 2009 a y b). Se encontró alternariol en el sorgo almacenado en los pozos tradicionales (Abdalla, 1998).

35. Aunque el proceso de fermentación reduce las micotoxinas en los productos contaminados (Hell and Mutege, 2011), en el Cuadro 4 se documenta un remanente importante de micotoxinas en las cervezas africanas tradicionales a base de sorgo. Odhay y Naicker, (2002) encontraron AFB₁ (200 µg/kg a 400 µg/kg y OTA (de 0,34 µg/kg a 54,5) en concentraciones peligrosas, con moderadas cantidades de ZEA (2,6 a 426 µg/L) en cervezas sudafricanas. La cerveza opaca tradicional de Malawi a base de sorgo contiene aflatoxinas en niveles superiores al límite admisible del Codex de 10 µg/kg (Matumba *et al.*, 2011). Se encontraron concentraciones de hasta 50 µg/kg en cervezas locales de Lesotho a base de sorgo (Sibanda *et al.*, 1997). En Botswana, Nkwe *et al.* (2005), aisló de 46 muestras de maltas, mostos y cervezas tradicionales de sorgo, *F. verticillioides* y *A. flavus* en el 72% y el 37% de las muestras, respectivamente. No se encontraron aflatoxinas. Se encontraron fumonisinas B₁ en malta, con una intensidad del 6,5% y en concentraciones de 47 µg/kg a 1,316 µg/kg. Se encontró zearalenona en malta, con una intensidad de 56% y en concentraciones de 102 µg/kg a 2.213 µg/kg, en mostos a un 48% de intensidad y en concentraciones de 26 µg/L a 285 µg/L, y en la cerveza en un 48% de intensidad y un nivel de 20 µg/L a 201 µg/L. Dada la presencia de estas cantidades peligrosas de sustancias tóxicas en nuestros productos fermentados, es conveniente acatar la recomendación de Pietri *et al.* (2010) respecto a que si las materias primas cumplen con los límites legislados, la aportación de un consumo diario moderado de cerveza a la ingesta de micotoxinas no contribuye significativamente a la exposición de los consumidores. De acuerdo con las normas de la UE, el contenido de DON y FB₁ encontrado en cervezas del Camerún a base de sorgo (Roger, 2011) sería inocuo. Con todo, en este caso la preocupación es por la probable sinergia de las toxinas (Placinta *et al.*, 1999).

CONSECUENCIAS ECONÓMICAS Y SANITARIAS DE LA PRESENCIA DE HONGOS Y MICOTOXINAS EN EL SORGO

36. En los aislados de hongos tóxicos, los más frecuentes fueron *Aspergillus spp.*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Trichoderma* (Cuadro 3) y, por lo tanto, las micotoxinas que probablemente produzcan representan un problema de salud importante. Una gran cantidad de micotoxinas (Uraguchi and Yamazaki, 1978 y Scott, 1994), algunas de las cuales son de importancia para la salud pública, son producidas por especies de *Aspergillus* (Gbodi and Nwude de 1988, Prelusky and Rotter, 1994, Peraica *et al.*, 1999), pero de mayor preocupación es la presencia de aflatoxinas y esterigmatocistina, que son carcinógenos naturales y se han asociado a la alta frecuencia de cáncer de hígado en algunas partes del mundo donde los alimentos están frecuentemente contaminados con aflatoxinas (Bankole and Adebajo, 2004). Las aflatoxinas son principalmente conocidas hepatotoxinas y hepatocarcinógenos a los que se atribuyó la muerte de 80 personas en Kenya, que consumieron harinas de maíz muy contaminadas con aflatoxinas en 2004 (Promed, 2004).

37. El carcinoma hepatocelular (HCC) es una enfermedad crónica que se ha convertido en un importante problema de salud mundial, produce más de 600.000 casos al año (Ferenci *et al.*, 2010) y representa más del 70% de los carcinomas hepáticos (Lata 2010). En África y Asia la causa o promotor más probable de este tipo de cáncer son las AFB₁, (se ha estimado que las AFB₁ pueden desempeñar un papel causal en del 4,6% al 28,2% de los casos mundiales de HCC (Liu and Wu 2010), que es un carcinoma primario en el caso de las zonas donde se encuentran factores tales como la hepatitis y presencia de aflatoxinas.

38. La potencia tóxica de las aflatoxinas B₁ se hace patente en el hecho de que fue la sustancia utilizada en un intento de suicidio de un trabajador de laboratorio (Peraica *et al.*, 1999) y es un arma biológica de los arsenales de los terroristas (Lane, 2005). Los investigadores también han demostrado que las aflatoxinas elevan el nivel del virus del SIDA en un 400% en la sangre (Lane, 2005) y que se debe a que suprimen la producción de sustancias humores no específicas de resistencia (sobre todo C4 e interferón), y evitan la fagocitosis, el crecimiento del timo y la inmunidad mediada por células (Pier y McLoughlin, 1985).

39. Aparte de la forma aguda de la intoxicación por aflatoxinas, muchas enfermedades y trastornos se asocian al consumo crónico de esta toxina. La de mayor preocupación en el África occidental es la demostrada en un estudio que señaló una correlación significativa entre la exposición a aflatoxinas a través de alimentos y el retraso del crecimiento en los niños que están expuestos a la toxina desde las etapas neonatales (Gong *et al.*, 2002). En la República de Benin y en Togo (Gong *et al.*, 2003 y Gong *et al.*, 2004) se observó que un nivel elevado de exposición a las aflatoxinas en el destete era negativo para el crecimiento de los niños. Se demostró una fuerte relación negativa entre los niveles de aflatoxinas y el peso al nacer en bebés de los Emiratos Árabes Unidos (Abdulrazzaq *et al.*, 2004). El hecho de que las aflatoxinas sean genotóxicas y puedan atravesar la barrera placentaria, permite que causen defectos genéticos en las etapas fetales (Maxwell *et al.*, 1989).

40. Los niños desnutridos por falta de consumo de proteínas (*kwashiorkor*) que presentan aflatoxinas en el cuerpo, tienen niveles significativamente más bajos de hemoglobina, edemas de mayor duración, mayor número de infecciones y una mayor duración de la estancia hospitalaria que los niños desnutridos sin aflatoxinas en la sangre ni la orina (Adhikari *et al.*, 1994). Esto significa que las aflatoxinas agravan el *kwashiorkor*. Las aflatoxinas también se han asociado a la susceptibilidad neonatal a las infecciones y la ictericia (IARC, 1976), infecciones de la infancia, enfermedades malignas y a una respuesta comprometida en los niños a las vacunas (Hendrickse *et al.* 1983).

41. Las toxinas principales del *Penicillium* son: ocratoxina A, citrinina, patulina, ácido penicílico, roquefortina, ácido ciclopiazónico, verrucosidina, rubratoxina, ciclocolorina y luteoskirina (Scott, 1994). Los significados toxicológicos de estas micotoxinas para la salud humana, la producción pecuaria y el comercio han sido examinados por muchos científicos (Gbodi and Nwude, 1988, Beardall and Miller, 1994, Prelusky and Rotter, 1994, Peraica *et al.*, 1999). Aparte de las aflatoxinas, las tres principales micotoxinas de *Aspergillus* y *Penicillium* que representan el mayor peligro de salud pública son la ocratoxina A, la patulina, y la citrinina. La ocratoxina A causa insuficiencia renal o hepática en los animales y el hombre, especialmente en los cerdos (Stoev *et al.*, 2011). Esta micotoxina se ha propuesto como el agente causante de la nefropatía endémica que se produce entre la población rural en Croacia, Bosnia y Herzegovina, Yugoslavia, Bulgaria y Rumanía, donde se ha estimado que alrededor de 20.000 personas padecen o se sospecha que tengan esta enfermedad (Peraica *et al.*, 1999). En Egipto, Croacia, Bulgaria y Yugoslavia también se asocia esta toxina a tumores uroteliales de la pelvis y el uréter, y a la nefropatía intersticial crónica en Túnez (Wafa *et al.*, 1998 y Peraica *et al.* 1999). La patulina y la citrinina son neurotóxicas y nefrotóxicas, respectivamente (Peraica *et al.*, 1999). Especies de *Penicillium*, especialmente *P. citreonigrum*, *P. islandicum* y *P. citrinum* junto con sus toxinas; luteoskirina, ciclocolorina y citreoviridina, que se encuentran también en el sorgo, se asocian a la enfermedad del arroz amarillo (Uraguchi and Yamazaki, 1978).

42. La zearalenona, una toxina de efectos estrogénicos, causa infertilidad en los animales y se asocia a brotes de pubertad precoz en niños en Puerto Rico y se ha indicado que puede contribuir al cáncer cervical humano (JECFA, 2000). Las otras micotoxinas elaboradas por el *Fusarium spp* se clasifican en los siguientes grupos principales; tricotecenos, culmorinas, enniatinas, fusarinas y fumonisinas. Otros compuestos producidos por esta familia de hongos y que no pertenecen a los grupos mencionados son la moniliformina, el butenolido y el clamidosporol. Todas estas fusariotoxinas, especialmente los tricotecenos y las fumonisinas, son un importante problema de salud y han causado micotoxicosis en animales (Gbodi and Nwuda, 1988) y humanos (Prelusky and Rotter, 1994).

43. Los tricotecenos inhiben las proteínas con los consiguientes efectos inmunosupresores, causando graves daños al tracto digestivo y la muerte debido a hemorragias intestinales (Beardall and Miller, 1994). Los tricotecenos más comunes son el deoxinivalenol (DON) y la toxina T-2. El DON fue el agente causal de un caso en gran escala de toxicosis humana en el Valle de Cachemira, en la India en 1988, y se ha notificado de toxicosis agudas de DON en Corea, Japón y China, entre otros países (Beardall and Miller, 1994).

44. Las fumonisinas, especialmente las FB₁ causan cáncer de riñón y de hígado y defectos del tubo neural en roedores, leucoencefalomalacia en equinos y edema pulmonar en cerdos (Marasas, 2001). La asociación de FB₁ con una elevada frecuencia de cáncer humano de esófago en algunas partes de Sudáfrica, el noreste de Irán y China, cáncer del tracto gastrointestinal superior en el norte de Italia y defectos del tubo neural en lactantes (Marasas, 2001) es motivo de preocupación sanitaria importante. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer clasifica las fumonisinas como posibles carcinógenos humanos (categoría II-B) (IARC, 1993).

45. Se ha observado contaminación fúngica de *Trichoderma spp* en sorgo, (Uraguch and Yamazaki, 1978 y Gbodi, 1986). Las micotoxinas producidas por los hongos *Trichoderma spp* son numerosas: alameticinas, crisofanol, emodina, ergoconina, gliotoxina, gliovirina, proteína G, harzianum A, ácido heptelídico, isocianociclopentenos, konigininas A, B, C, G, aracelsina, saturnisporina, suzukacilina, tricoxermina, tricozianinas A y B, tricotecenos, tricotoxina, tricoviridina y viridina (Uraguch and Yamazaki, 1978, Scott, 1994). Sin embargo, las más complejas y tóxicas son la satratoxina H, el tricoxermina, la tricoxermina y la toxina T-2. La satratoxina H es un inmunosupresor abortogénico en animales, mientras que los otros tres son inhibidores de la síntesis de proteínas y causan daños en el tracto gastrointestinal y la hemoglobina de los animales y el hombre (Prelusky and Rotter, 1994 and 2000, JECFA).

46. Aunque la toxicidad de la paliclavina producida por el hongo *Claviceps spp* japonés no se ha investigado, los alcaloides sintetizados por el *C. africana* se asocian al rechazo a los alimentos y la pérdida de peso en los cerdos, con la consiguiente pérdida de camadas debido a la falta de producción de leche en las hembras. (Bandyopadhyay *et al.*, 1998). La patología del síndrome muestra una disminución significativa en los niveles de prolactina en la sangre, lo que demuestra la posibilidad de agalactia en las hembras. El estudio además documentó que cuando se dio a aves de corral piensos contaminados por esclerocios con hongos, se observó dificultad en la respiración, diarrea y muerte en los animales de experimentación.

47. La alta frecuencia de la presencia de *Mucor* y *Alternaria spp* en sorgo con mohos y su toxicidad demostrada en ratones experimentales (Makun *et al.*, 2009b) indican la presencia probable de metabolitos tóxicos de estos hongos en el cereal. Por ejemplo, es previsible como micotoxina contaminante del sorgo la presencia de rizonina A, secretada por el hongo *Mucor spp*, que produce efectos fatales en el riñón y el hígado de ratones y ratas (Wilson, 1984). Los mohos del género *Alternaria* producen muchas toxinas pero principalmente citocalasinas y ácido tenuazónico (Visconti and Sibilia, 1994), que se han asociado a la enfermedad hemorrágica humana *onychia* en Sudáfrica (Beardall and Miller, 1994).

48. Cabe mencionar que existe una muy alta concomitancia de hongos micotoxigénicos diferentes en la misma muestra de cereales (Cuadro 3), particularmente aquellos que producen AF, OTA y FB, que puedan causar contaminación simultánea natural de micotoxinas relacionadas y no relacionadas en la misma matriz de alimentos, como se observa en el Cuadro 4. Makun *et al.* (2009) demostraron esa contaminación conjunta del sorgo por diferentes toxinas, en este caso la presencia simultánea de AF, OTA y ZEA. Los contaminantes de micotoxinas podrían producirse en combinaciones de dos, tres y hasta cinco (Elegbede, 1978, Ayalew *et al.*, 2006, Ghali *et al.*, 2008).

49. Las consecuencias de semejantes "cócteles" de toxinas en la salud humana no se conocen hoy en día. Sin embargo, los efectos interactivos de las micotoxinas en estas combinaciones naturales podrían ser sinérgicos, aditivos o antagónicos en los organismos hospedadores (Miller, 1995). La interacción entre las AFB₁ y las FB₁, que es una de las combinaciones observadas, produjo un efecto aditivo en ratones, causando mayores lesiones en el hígado y los riñones de los animales de experimentación (Gelderblom *et al.*, 2002). Otras combinaciones observadas que se han documentado mostraron interacciones sinérgicas que comprenden AFB₁ y tricotecenos (Placinta *et al.*, 1999), FB₁ y OTA (Creppy *et al.*, 2004) y FB₁ y ZEA (Luongo *et al.*, 2008). La exposición simultánea a OTA y AFB₁ en conejos reveló una interacción antagónica entre las toxinas en relación con los efectos teratogénicos (Wangikar *et al.*, 2005). La naturaleza compleja y variada de los efectos de diversas micotoxinas es evidente en los efectos sinérgicos y aditivos de depresión del DON y las FB₁ en cerdos y pollos de engorda, respectivamente (Placinta *et al.*, 1999). El DON es antagónico a la toxina T-2 para inhibir la proliferación de los linfocitos humanos (Speijer and Speijer 2004). Prácticamente no existen datos de la interacción entre cuatro o más especies de micotoxinas, característica recurrente en las muestras de sorgo, sin embargo, Speijer y Speijer (2004) postularon que una exposición conjunta a varias clases de micotoxinas por lo general produce un efecto aditivo, con pocas excepciones, lo que indica una interacción sinérgica.

50. Las pérdidas económicas causadas por contaminación de hongos y micotoxinas pueden considerarse en tres etapas, a saber: la producción agrícola, la producción pecuaria y los niveles de salud humana. En cuanto a la producción agrícola, los hongos destruyen millones de toneladas de cosechas todos los años. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que todos los años se pierde el 25% de los cultivos alimentarios del mundo debido a las micotoxinas (Charmley *et al.*, 1994). El Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT, 2002) informó del siguiente volumen de cereales alimentarios dañados por micotoxinas al año en todo el mundo: 16 millones de toneladas de maíz, 12 millones de toneladas de arroz, 1,8 millones de toneladas de cacahuetes, 378.000 toneladas de sorgo y mijo, 3,7 millones de toneladas de copra, 2,3 millones de toneladas de soya. Una parte sustancial de esta merma se produce en países en desarrollo de Asia y África.

51. En los Estados Unidos solamente, el costo económico anual medio de las pérdidas agrícolas debido a las micotoxinas, aflatoxinas, fumonisinas y deoxinivalenol, se estima en 932 millones de USD (CAST, 2003), y un promedio de pérdidas adicionales de 466 millones de USD corresponde a la intervención para prevenir o reducir la contaminación a través de reglamentación y aplicación de reglamentos, y otras actividades de control de calidad (Dohlman, 2003). Los países africanos que exportan productos agrícolas pierden 670 millones de USD anuales por cumplir con las normas de la Unión Europea para las aflatoxinas (Otsuki *et al.*, 2001). Este impacto económico de las aflatoxinas es enorme en el continente, sobre todo en los numerosos países agrícolas africanos, donde las exportaciones de cereales, fruta seca y nueces representan el 50% de los ingresos nacionales (Sibanda *et al.*, 1997). También en Nigeria el Organismo Nacional de Control de Alimentos y Medicamentos destruyó alimentos contaminados de aflatoxinas por un valor de más de 200.000 USD (SFI, 2005).

Cuadro 4: Frecuencia de la presencia natural de micotoxinas en el sorgo en todo el mundo

Micotoxina	País	Tipo de muestra	Frecuencia	Rango de concentración (µg/kg)	DE media ± de la concentración (µg/kg)	Referencia
Aflatoxinas	Australia					Ryle, 2010
Aflatoxinas	Etiopía		8,8%	0-26		Ayalew <i>et al.</i> , 2006
Aflatoxinas B ₁	Nigeria	campo	8/8	30,32 - 211,20	81,3	Uraih and Ogbadu, (1980)
G ₁			8/8	2,40 - 208,00	59,97	
Aflatoxinas B ₁	Nigeria		22/318	0 - 40		
Aflatoxinas B ₁	Nigeria	almacén		27,22 - 36,13	30,53 ± 3,37	Odoemelam & Osu, (2009)
Aflatoxinas B ₁	Nigeria	campo con mohos	5/16	0 - 54	9,88 ± 17,73	Makun <i>et al.</i> (2009a)
		almacén con mohos	88/152	0 - 1,164	≥266,82	-Ibid.-
Aflatoxinas	Sudán	pozo tradicional	30	0 - 500	91,7	Abdalla (1998)
Aflatoxinas B ₁	Sudán	almacén	6/28	0 - 7	30	Ahmed <i>et al.</i> (2009)
Aflatoxinas B ₂			1/28	0 - 5	15	
Aflatoxinas B ₁	Sudán	almacén	2/11	37 - 375	206 ± 0,70	Elzubir <i>et al.</i> (2009a)
Aflatoxinas B ₂			1/11	0 - 5,46	5,46 + 0,52	
Aflatoxinas G ₁			2/11	0 - 24	136,9 + 0,75	
Aflatoxinas B ₁	Sudán	almacén			21,8 + 0,05	Elzubir <i>et al.</i> (2009b)
Aflatoxinas B ₂		almacén			0,08 + 0,06	
Alternariol	Sudán	pozo tradicional		0 - 350		Abdalla (1998)
Ocratoxina A	Sudán	almacén	84/113	0,33 - 1,58	2,5	Ahmed <i>et al.</i> (2009)
Ocratoxina A	Sudán	almacén			0,96	Elzubir <i>et al.</i> (2009b)
Aflatoxinas	EE UU		3/223	5 - 50		JECFA, (1998)
Aflatoxinas B ₁	Brasil		20/59			
Aflatoxinas B ₁	Brasil		18/140	7 - 33		Da Silva <i>et al.</i> , (2000)
Aflatoxinas B ₁	China			>1	11	JECFA, (1998)
Aflatoxinas B ₁	Colombia	campo		1,4 - 43		JECFA, (1998)
Aflatoxinas B ₁	la India			600 - 800		Tripathi, 1973
Aflatoxinas B ₁	la India	normal y afectada por las lluvias	2,5 – 100%	0-830		Bhat <i>et al.</i> 2000
Aflatoxinas B ₁	la India		/209	7 – 75	≥91,6	Rustom, (1997)
Aflatoxinas B ₁	la India	campo	56/94	0 - 362		Waliyar et al. (2007)
						Shetty & Bhat (1997);
Aflatoxinas B ₁	la India y Tailandia	campo		0,10 - 30,3		Shetty & Bhat (1997); Suprasert & Chulamarakot (1999)

Micotoxina	País	Tipo de muestra	Frecuencia	Rango de concentración (µg/kg)	DE media ± de la concentración (µg/kg)	Referencia
Aflatoxinas B ₁	Sudáfrica	cerveza	2/6	0 - 25		Rustom, (1997)
Aflatoxinas B ₁	Sudáfrica	tradicional	2/13	200 - 400		Odhav and Naicker, (2002)
Total de aflatoxinas	Malawi	almacén				Matumba <i>et al.</i> (2011)
		malta1 de sorgo	6/6	1,7 – 3,0	2,35	
			21/21	6,1 – 54,6	17,57	
		malta2 de sorgo	3/7	4,3 – 1138,8	408,45	
		Thobwa cerveza	5/5	2,1 – 7,1	4,5	
Total de aflatoxinas	Túnez	sorgo	58/93	8,8 – 34,5	22,32	Ghali <i>et al.</i> (2009)
Ocratoxina	Sudáfrica	cerveza tradicional	8/18	0,34 – 54,5		Odhav and Naicker, (2002)
Ocratoxina A	Nigeria	campo	13/18	3 - 2.340		Elegbede, (1978)
Ocratoxina B			1/18	0 - 50		
Ocratoxina C				0 - 60 análisis de calidad		
Ocratoxina A	Nigeria	almacén	2/16	0 – 412	28,05 + 102,85	Makun <i>et al.</i> (2009)
			21/96	0 - 712	≥88,33	Ayalew <i>et al.</i> (2006) Ghali <i>et al.</i> (2008)
Ocratoxina A	Etiopía	sorgo en grano	17/78	0 - 2106	174,8	Zaied <i>et al.</i> (2000)
Ocratoxina A	Túnez		9/17	2,5 – 36,4	14,4	Zafar <i>et al.</i> (2001)
Ocratoxina A	Túnez		43/113	8 - 950	117	CODEX (2011)
Ocratoxina A	la India		2/12	0-38	34	Ayalew <i>et al.</i> (2006)
Ocratoxina A	Sudán			6-9		Ayalew <i>et al.</i> (2006)
Deoxinivalenol	Etiopía		48,8%	40 – 2.340		Waliyar <i>et al.</i> (2007)
Fumonisin	Etiopía	jarabe de sorgo				Truckness <i>et al.</i> (2000)
Fumonisin	la India			0 – 441	≥93,8	Ayalew <i>et al.</i> (2006)
Fumonisin B ₁	EE UU		1/15	0,12	0,12	Ayalew <i>et al.</i> (2006)
Fumonisin B ₂						
Nivalenol	Etiopía			50 - 380		Makun <i>et al.</i> (2009a)
Zearalenona	Etiopía			32		Elegbede, (1978)
Zearalenona	Nigeria	campo	9/16	0 - 1454	211,50 + 394,46	Odhav and Naicker, (2002)
		almacén	53/152	0 - 1454	184,76 ± 328,31	
Zearalenona	Nigeria	campo	3/18	0 - 143,5		Ghali <i>et al.</i> (2008)
Zearalenona	Sudáfrica	cerveza tradicional	13/29	2,6 - 426	10,9	Aoyama <i>et al.</i> (2009)
Zearalenona	Túnez	sorgo en grano	4/17	7,3 - 14,0	50	Sydenham <i>et al.</i> (1988)
Zearalenona	Japón	sorgo de importación	84/169	60 - 7260	705	Salifu, (1981)

Micotoxina	País	Tipo de muestra	Frecuencia	Rango de concentración (µg/kg)	DE media ± de la concentración (µg/kg)	Referencia
Zearalenona	Sudáfrica	sorgo en grano		0,8 - 1,25		Elegbede (1978)
Patulina	Nigeria	sorgo en grano	1	50		
Esterigmatocistina	Nigeria	sorgo del campo	3/18	Análisis de calidad		Ansari and Shrivastava (1990)
AME	la India	sorgo en grano	7/20	600 – 1.800		Sydenham <i>et al.</i> (1988)
AME	Sudáfrica	piensos de sorgo para porcinos	4/4	1250 - 2250		Hagler <i>et al.</i> (1987)
AME	EE UU	sorgo en grano		445		Ansari and Shrivastava (1990) Ansari and Shrivastava (1990)
ALT	la India	sorgo en grano	5/20	20 - 700		CX/CF09/12. 2010
TA	la India	sorgo en grano	5/20	1.300 – 5.600		Bhavanishankar and Shantha (1987)
Aflatoxinas B ₁	Sudán	sorgo en grano	17,8%	1 - 7		Roger (2011)
Aflatoxinas B ₂			3,5%	1 - 5		
Toxina T-2	la India	sorgo en grano	4/84	1.670 -15.000		Roger (2011)
DON	Camerún	cerveza opaca de sorgo	107/120	140 - 730		
FB ₁	Camerún	cerveza opaca de sorgo	105/120	0,5 - 340		

Nota: malta1 de sorgo se refiere a la malta preparada para elaborar *thobwa* y malta2 se refiere a la preparada para elaborar cervezas.

AME = éter monometilo de alternariol y ALT = altenueno.

52. Las pérdidas anuales estimadas en los EE UU y Canadá por los efectos de las micotoxinas en las industrias de alimentos y pecuaria ascienden a unos 5.000 millones de USD (Rodríguez *et al.*, 2003). Respecto al impacto económico de las micotoxinas en la salud humana, es muy preocupante la pérdida de un 40% de la productividad de la mano de obra en África a causa del incremento de enfermedades y muertes por las aflatoxinas (Miller, 1995). Pero ¿cómo evaluar las pérdidas económicas después de quintuplicarse las tasas de mortalidad, y de la muerte de varios centenares de personas en una aldea de la India y dos distritos en Kenya tras ingerir alimentos con mohos contaminados con aflatoxinas? Tampoco es posible evaluar las pérdidas a la muerte de varios miles de personas por aleucia tóxica alimentaria, ergotismo, cáncer de esófago y de hígado que han asolado diferentes partes del mundo en el pasado.

INGESTA ALIMENTARIA DE MICOTOXINAS PRESENTES EN EL SORGO

53. Para estimar el consumo potencial debido a la presencia de micotoxinas en los cultivos se requieren cuatro informaciones: (1) los niveles de toxinas presentes en los cultivos de sorgo, en este caso, (2) la cantidad de sorgo que se consume, (3) los efectos en las concentraciones de la toxina de cualquier tratamiento posterior, y (4) métodos para combinar los 3 primeros a fin de estimar el consumo. Hay muy pocos datos completos de los valores medios de cada una de las micotoxinas presentes en el sorgo, la cantidad de cereales consumidos por la población y la cantidad de toxinas eliminadas mediante la cocción, con excepción de unos cuantos, lo que impone una investigación intensa en esta región en particular de África y Asia, donde el sorgo se utiliza principalmente para la nutrición humana.

54. Se ha informado que, en promedio, una alimentación típica en Nigeria consta de 138 kg de cereales (principalmente maíz y sorgo) por persona al año (FAO, 2005). Dada esta información, se calculó que la exposición a las aflatoxinas a través del consumo de sorgo sería solamente de unos 1,2 mg por persona al año, y la exposición media diaria a las aflatoxinas por persona por medio del sorgo sería de 3,3 µg al día (Bandyopadhyay *et al.*, 2007).

55. En un estudio formulado para determinar la concentración de aflatoxinas en muestras de sorgo, malta de sorgo y cervezas caseras de maíz del sur de Malawi, se encontró que la frecuencia de la contaminación por aflatoxinas en las muestras de sorgo era muy baja, sin embargo la frecuencia de la contaminación por aflatoxinas resultó elevada en las muestras de malta de sorgo (Matumba *et al.*, 2011). Todas las cervezas presentan aflatoxinas, sin embargo, en concentraciones inferiores de contaminación que las muestras de malta de sorgo utilizadas en su producción. Los investigadores indicaron que con el fin de obtener información sobre la exposición a las aflatoxinas debido al consumo de cerveza tradicional en África es necesario conocer el volumen del consumo de cerveza en diversas comunidades africanas. En un estudio de la fabricación local de bebidas alcohólicas tradicionales en Tanzania, se observó que los habitantes locales pueden consumir hasta 5,6 litros al día (Nikander *et al.*, 1991). El consumo de 5 litros de la cerveza tradicional de ese estudio se traduce en un consumo diario de 111,6 µg de aflatoxinas, que da una exposición media diaria de aflatoxinas de 1,86 µg de aflatoxinas/kg de peso corporal por día para un adulto de 60 kg (Matumba *et al.*, 2011).

56. La producción y el consumo de cervezas artesanales de sorgo de fabricación casera es una práctica tradicional muy extendida en el norte del Sudán y la zona saheliana del Camerún (Roger, 2011). Sobre la base de los datos publicados sobre el consumo de cerveza artesanal de sorgo de elaboración casera en el Camerún, se observó que la exposición a las fumonisinas y el deoxinivalenol en estas regiones entre los consumidores era muy superior al límite máximo provisional de la ingesta diaria tolerable. Los altos niveles de DON y FB₁ se registraron en dos cervezas opacas artesanales del Camerún, y el investigador concluyó que si se tiene en cuenta el hecho de que si bien no hay evidencia directa del nivel de consumo que produce efectos negativos en la salud humana, no obstante serían preocupantes las consecuencias de una posible toxicidad cuando la cerveza está contaminada por mezclas de estas micotoxinas.

PREVENCIÓN, CONTROL Y REGLAMENTACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICOTOXINAS EN EL SORGO

57. El predominio de los hongos productores de aflatoxinas y las especies de *Alternaria* presentes en el sorgo, como se deduce de este estudio, exige que el tema central de esta sección sean las estrategias de intervención para eliminar estos hongos y sus toxinas, que no figuran en el código de prácticas. Para examinar las intervenciones se pueden tomar diversos caminos (Wu and Khlangwiset, 2010b). El mejor enfoque es el de la prevención, siempre mejor que curar. Una intervención de este tipo consiste en liberar cepas no aflatoxigénicas de *Aspergillus flavus* en el entorno agrícola, y existe un producto comercial de este tipo llamado Afla-Guard®. Esto se traduce en la supresión de las cepas naturales aflatoxigénicas (Abbas *et al.*, 2011). Se informó recientemente sobre un estudio formulado para explorar el uso de ciertos agentes de control biológico para reducir la formación de *Aspergillus flavus* y las consiguientes aflatoxinas B₁ en el sorgo (Reddy *et al.*, 2010). Las pruebas microbiológicas mostraron una inhibición considerable de la formación de *A. flavus* y la reducción de las aflatoxinas B₁, por lo tanto, debería estudiarse más a fondo el uso de agentes de control biológico.

58. Otro método de intervención es la introducción de variedades genéticamente modificadas de cultivos, por ejemplo, el maíz Bt genéticamente modificado (GM), que inhibe los daños causados por insectos y, por lo tanto, las infecciones de hongos (2006 Wu), y actividades de mejoramiento para obtener líneas de sorgo con las características de resistencia a los mohos (Ambekar *et al.*, 2010). Otra medida de prevención es alimentar a los animales con proteínas y vitaminas, especialmente vitamina C, que imparten protección contra las micotoxinas (Obidoo and Gugnani, 1992, Smith *et al.*, 2000). Una opción más tradicional es el uso de fungicidas y plaguicidas, si bien actualmente no se favorece esta modalidad. El uso de depredadores naturales (gatos y perros) en los campos y zonas de almacenamiento para alejar a los roedores, las aves y los monos es una estrategia preventiva de control muy viable para África.

59. Los riesgos de contaminación por aflatoxinas en los alimentos y los piensos en África se incrementan por factores ambientales, agronómicos y socioeconómicos (Hell and Mutegi, 2011). Las prácticas de gestión que incrementan la productividad agrícola pueden reducir el riesgo de formación de aflatoxinas. Estas prácticas suponen utilizar variedades resistentes, hacer rotación de los cultivos, sembrar en las fechas más convenientes, combatir la maleza y las plagas, evitar las presiones por sequía y nutricionales por medio de la irrigación y la aplicación de fertilizantes. Los autores indicaron que las intervenciones postcosecha que pueden reducir la contaminación por aflatoxinas son un secado rápido y correcto, el transporte y embalaje adecuados, la clasificación, limpieza, deshidratación, ahumado, control de insectos, y el uso de productos botánicos o plaguicidas sintéticos para proteger el almacenamiento. A pesar de que las prácticas aquí sugeridas se refieren a las aflatoxinas, se considera que son aplicables para combatir la contaminación de todas las micotoxinas en los cultivos de cereales susceptibles.

60. En cuanto a las instalaciones de almacenamiento, se recomienda mantener un contenido decisivo de humedad de 0,70 de actividad del agua (Magan and Aldred, 2007). Los conservantes químicos más utilizados son los ácidos orgánicos: los ácidos fórmico, acético, propiónico, sórbico y benzoico. Sin embargo, no son eficaces en los alimentos que contienen componentes básicos que los neutralizan (Smith and Moss, 1985). Los álcalis, los ácidos fuertes y los agentes oxidantes son muy eficaces para desintoxicar de las aflatoxinas pero, debido a que podrían modificar drásticamente las propiedades de los productos, la amonificación sigue siendo el procedimiento de desintoxicación predilecto y utilizado. Sin embargo, los cambios que se producen en la composición química y las propiedades organolépticas de los alimentos amonificados determinan que no sean aptos para el consumo humano, aunque sí adecuados para los animales. La comercialización del procedimiento de amonificación en África por los gobiernos y empresas privadas, como se hizo con éxito en los EE UU, podría ayudar a los productores pecuarios de los países en desarrollo a disponer de piensos relativamente más inocuos de frente a la gran contaminación y la escasez de piensos.

61. La toxicidad y el "mal sabor" que producen la conservación química y los procesos de desintoxicación han inducido a los científicos a buscar fungicidas naturales, más inocuos y respetuosos con el medio ambiente. Entre este tipo de investigaciones, en África se ha observado que el extracto de las hojas de *Lippia multiflora* produce un efecto estático en los hongos de *Aspergillus flavus* y *Fusarium verticillioides* (Anjorin *et al.*, 2008). Los aceites esenciales, el ozono, diatomáceas terrestres y antioxidantes de calidad alimentaria, como el butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT) y propilparabeno (PP) son prometedoras opciones no tóxicas, eficaces con relación a los costos, en comparación con los conservantes químicos tóxicos para combatir una variedad de hongos, como los *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* y otros (Chulze, 2010). Sería extraordinario para el continente que se llevaran a cabo experimentos más intensos sobre el terreno con estos prometedores productos vegetales, así como su posterior formulación para elaborar fungicidas botánicos. La radiación gamma de alimentos contaminados con aflatoxinas disminuye la toxicidad (Ogbadu and Bassir, 1979) y la producción (Ogbadu, 1979, Ogbadu, 1980a, Ogbadu, 1981 y Ogbadu, 1988) de toxinas en los alimentos radiados, por lo que podría ser una buena opción de tratamiento postcosecha, de elaboración y envasado para los países africanos que tengan la infraestructura adecuada. El análisis de peligros y de puntos críticos de control (APPCC), un dinámico sistema de gestión en el que se mantiene la inocuidad de los alimentos a través del análisis y control de riesgos biológicos, químicos y físicos desde la producción de las materias primas, la adquisición y la manipulación, hasta la fabricación, distribución y consumo del producto terminado, cuyo primer objetivo fue garantizar la inocuidad de los alimentos de los astronautas durante el viaje y se ha convertido en un instrumento invaluable para combatir la contaminación microbiana de los alimentos y productos farmacéuticos (FDA, 2011), también es aplicable a la lucha contra las micotoxinas (FAO, 2003). La obtención de un ingrediente probiótico en los piensos a partir de una combinación de sorgo con mohos, *Cassia tora* y fermentación espontánea redujo significativamente las aflatoxinas, las fumonisinas y el contenido de ergosterol, con una mejora marginal en el valor nutritivo de los piensos (Siruguri *et al.*, 2009.) Sólo hay disponible como aditivo para los piensos en varios países un producto de origen biológico que se afirma que inactiva los tricotecnos en los piensos por descomposición enzimática (Negedu *et al.*, 2011).

62. Se han experimentado tratamientos clínicos de enfermedades, como el HCC, con diversos grados de éxito. Estos van desde medidas preventivas, tales como el uso de arcillas de Novasil que se añaden a la alimentación para ligar las aflatoxinas (Afriyie-Gyawu *et al.*, 2008); y la vacunación contra el VHB (Kew, 2005). Las nuevas tecnologías de formulación de probióticos son otro método de lucha eficaz contra las micotoxinas. El uso de sustancias se puede considerar en dos partes, la utilización de compuestos que bloquean el citocromo P450, responsable de la activación de las AFB₁ a la modalidad caarcinogénica, p. ej., el oltipraz (Langouet *et al.*, 1995, Wang *et al.*, 1999) y alimentos naturales, p. ej., del género *Brassica* (Manson *et al.*, 1997), y las que puedan tener algunos otros efectos que no están claros, p. ej., el uso de extractos de plantas como agentes de protección (Kotan *et al.*, 2011); ácido bórico (Turkez and Geyikoglu 2010); sorafenib, un bloqueador para la señalización de las rutas que participan en el HCC (Dank, 2010).

63. Aunque las estrategias de intervención que se analizan en los párrafos anteriores se concentraron en las aflatoxinas, también son aplicables a las especies de *Alternaria*. Sin embargo, la peculiaridad de las condiciones de formación y desarrollo de estos hongos requieren métodos específicos de control. Las condiciones favorables para la formación de hongos son un clima cálido (20° - 30°C) y abundante rocío, y para la formación de esporas es esencial la luz ultravioleta (Manjunath *et al.*, 2010). Por lo tanto, en condiciones de cultivo en invernaderos, el uso de materiales que absorben la luz UV puede reducir considerablemente la frecuencia de la formación de especies de *Alternaria* (Laemmlen, 2001). De la misma manera, las otras estrategias de intervención primaria consisten en evitar prolongados períodos de humedad sobre la superficie de las hojas y aplicar fungicidas. Aparte de las buenas prácticas de sanidad agrícola, producir con cultivos resistentes, hacer rotación de los cultivos y plantar con distancia entre los cultivos o podar las hojas para evitar condiciones de humedad, aplicar fungicidas como la azoxistrobina, piraclostrobina, *Bacillus subtilis*, bismorfolina, productos de cobre, dióxido de hidrógeno, mancozeb, bicarbonato de potasio y ziram, todo esto reduce las enfermedades producidas por los hongos *Alternaria*.

64. Las especies de *Claviceps* que producen cornezuelo también son de gran preocupación para la industria del sorgo, debido a su presencia en todo el mundo y a sus efectos nocivos para la salud en cerdos y aves de corral, con las consecuencias económicas evidentes. Por lo tanto, serán necesarias estrategias de intervención adicional específicas para estas cepas, a fin de tratar los alcaloides del cornezuelo. Si bien los métodos de prevención y control anteriormente expuestos también contrarrestarán considerablemente la presencia del cornezuelo, cabe insistir en dos cuestiones. Cuando la polinización, la floración y/o la fertilización se producen en un clima fresco ($\geq 19^{\circ}\text{C}$), húmedo y nublado, puede haber una intensa síntesis del cornezuelo (Bandyopadhyay *et al.*, 1998), por lo tanto, los autores recomiendan adaptar fechas y lugares para evitar ese período susceptible a la formación de cornezuelo. Además, el mejoramiento de semillas para obtener rasgos como una apertura rápida de la flor, autopolinización eficaz, fertilización rápida y otras características que contribuyen a abreviar el período susceptible al cornezuelo, reducirán en gran medida la presencia de este hongo en el sorgo.

Legislación

65. A fin de proteger a los consumidores de los peligros que representan las micotoxinas, muchos países, incluidos 15 países africanos (Sibanda *et al.*, 1997, Fellinger, 2006, y Njobeh *et al.*, 2010) han establecido leyes para combatir algunas micotoxinas, en particular las aflatoxinas. Según estos autores los límites tolerables máximos de aflatoxinas en los alimentos humanos en África es de 5 a 20 ppb, y para los piensos es de 5 a 300 ppb, y los alimentos para lactantes tienen los niveles más bajos (0 – 10 ppb). Las concentraciones máximas permitidas más bajas por países que legislan en materia de micotoxinas, de acuerdo con los datos del CAST (2003) son 5 µg/kg para la esterigmatocistina, 5 µg/kg para la OTA, 100 µg/kg para la ZEA, 1000 µg/kg para las FB, 100 µg/kg para la toxina T-2, 500 µg/kg para el DON, 50 µg/kg para la patulina y 500.000 µg/kg de alcaloides del cornezuelo. Parece no haber legislación para las toxinas de *Alternaria*. De ahí la necesidad de estudios a fondo de la toxicidad de los hongos y la posterior disposición de límites reglamentarios.

66. Mientras que estos límites máximos permitidos protegerían a los ciudadanos de los peligros de las micotoxinas, el mayor desafío para reglamentar en materia de micotoxinas en los países en desarrollo es la falta de cumplimiento de la legislación en el sistema del mercado informal de comida que funciona en estos países. En esta estructura del mercado, las materias primas agrícolas de las fincas y los graneros se venden directamente a los consumidores sin análisis de micotoxinas ni inspección de un posible estado de descomposición. Además en muchos países no existen organismos del gobierno a cargo de reglamentar en materia de micotoxinas, e incluso cuando los hay, son disfuncionales debido al estado lamentable de la infraestructura y la logística. Para aplicar la legislación relativa a las micotoxinas en África, principal productor de sorgo, deberá existir una unidad de vigilancia y control de calidad de los alimentos y los piensos destinados al consumo humano y animal, respectivamente, que garantice la ausencia de contenidos nocivos de micotoxinas.

Prevención por medio de vigilancia y una campaña de sensibilización

67. Es fundamental estimar los niveles de micotoxinas y otras sustancias tóxicas de alimentos a fin de evaluar la inocuidad de los alimentos. En consonancia con la recomendación de que se realice un estudio eficaz de las micotoxinas y la inspección de los alimentos y los piensos para aplicar una legislación en pro de la inocuidad de los alimentos, los gobiernos deben construir o fortalecer los laboratorios regionales ya existentes para dar seguimiento con regularidad a la contaminación de micotoxinas en alimentos, productos alimenticios y piensos, asegurando que cumplan las disposiciones establecidas. Invariablemente, África y Asia en particular deberán fortalecer sus organismos de control de calidad de los alimentos, y esto sólo se puede lograr si los profesionales que trabajan en esas instituciones poseen la capacidad académica y técnica para la gestión de las micotoxinas, lo que exige incluir cursos sobre micotoxinas en los planes de formación para agricultores, médicos y científicos que trabajan en los laboratorios.

68. La conciencia de los efectos nocivos de las micotoxinas no deberá limitarse a los profesionales de las industrias de los alimentos y los piensos e industrias conexas, sino a todos los consumidores. Por lo tanto, es imperativo hacer campañas de sensibilización sobre el impacto y la prevención de las micotoxinas, especialmente las notorias aflatoxinas, a través de los medios electrónicos e impresos y otros modos de difusión. Tales intervenciones de información pública y científica requieren estrategias nacionales e internacionales multidisciplinarias concertadas (WHO, 2006). Por lo tanto, resulta imperativo que se asocien los organismos nacionales e internacionales para afrontar eficazmente la cuestión de las micotoxinas mediante la comunicación de conocimientos y experiencias y estableciendo colaboraciones de investigación a fin de fortalecer la capacidad de los micotoxicólogos y los laboratorios en los países en desarrollo. Sólo queda alentar a científicos e instituciones participantes en la investigación de las micotoxinas en el mundo a buscar en colaboración subvenciones accesibles para investigación de la Unión Africana, la Unión Europea y otros organismos foráneos de financiación para investigar y combatir las micotoxinas con mayor eficacia.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

69. En este documento se destacó la creciente importancia mundial del sorgo para los alimentos, los piensos y otros usos industriales. Esto se suma a su importancia cada vez mayor en el mercado de exportaciones. En la realización de las tareas asignadas por la 5ª reunión del CCCF, este documento de debate llena las lagunas de información sobre la presencia y los tipos de micotoxinas presentes en el sorgo y las condiciones que favorecen su formación. Su finalidad es examinar la parte general del actual *Código de prácticas (CP) para prevenir y reducir la contaminación de los cereales por micotoxinas* (CAC RCP 51-2003) y determinar su idoneidad para aplicación al sorgo. A partir de estas actividades se formulan las recomendaciones que se presentan en la siguiente sección.

Recomendaciones

70. Nos permitimos hacer las siguientes recomendaciones:

i. El código de prácticas para la gestión de las micotoxinas en los cereales se centró en las ocratoxinas, la zearalenona, las fumonisinas y los tricotecenos y como hay muchas otras toxinas presentes en el sorgo, como se muestra en este documento, es pertinente modificar el CP a fin de prestar atención también a estas toxinas; si no a todas, al menos a las aflatoxinas y las toxinas de *Alternaria*. La modificación deberá corresponder a las estrategias de intervención examinadas anteriormente. Los motivos son los siguientes:

- a. El CP no tiene en cuenta las aflatoxinas, que son el contaminante más frecuente del sorgo en todo el mundo (Cuadro 4). La presencia casi al 100% de *A. flavus* en todo el mundo (Cuadro 3) confirma la necesidad de prestar atención a estas toxinas.
- b. Las especies de *Alternaria* y sus toxinas, como se muestra en los cuadros 3 y 4, son contaminantes muy frecuentes antes de la cosecha, que deban eliminarse de los cereales.
- c. El hongo *Phoma sorghina* se aisló del sorgo desde el inicio de la investigación de este cereal, y sus toxinas, las citocalasinas y el ácido tenuazónico, se asocian al síndrome hemorrágico *onyalia*, por lo que requiere más atención.
- d. Parecido a lo expuesto en el párrafo c. son el hongo *Claviceps spp* y la enfermedad del cornezuelo, que son los hongos de campo y las micotoxinas presentes en el sorgo que causaron la hambruna en el norte del Camerún de 1903 a 1906, y se han aislado del mismo cereal en Zimbabwe y Sudáfrica y en muchas otras partes del mundo. Estas especies deben ser, en definitiva, motivo de preocupación.
- e. La coexistencia natural de la moniliformina y las fumonisinas, y de las aflatoxinas con la esterigmatocistina, deberá hacer que se preste más atención a la moniliformina y a la esterigmatocistina.

ii. Mientras que el aspecto general del CP sigue siendo pertinente para el sorgo, la conveniencia de que haya publicaciones sobre gestión de micotoxinas en cereales en un documento único y la necesidad de ocuparse específicamente de los hongos en el campo y en el almacenamiento del sorgo informa nuestra recomendación de que se elabore un anexo por lo menos para las aflatoxinas y la *Alternaria spp* en el sorgo.

iii. Es digna de elogio la propuesta de que la FAO y la OMS hagan un estudio de las micotoxinas en el sorgo, patrocinado por el Fondo Fiduciario del Codex. Sin embargo en vista de la mayor presencia que está cobrando el sorgo en todo el mundo, como se muestra en este documento de debate, este estudio debe diversificarse y ampliarse para captar una imagen representativa, mediante la inclusión de:

- a. Todas las toxinas potenciales asociadas a los hongos toxigénicos que se encuentra en el cereal.
- b. Investigadores de micotoxinas de importantes países productores y exportadores de sorgo del mundo señalados en este documento, que son los Estados Unidos, Argentina, la India, Australia, Sudán, Nigeria y otros.

REFERENCIAS

- Abbas, H. K., Zablutowicz, R. M., Horn, B. W., Phillips, N. A., Johnson, B. J., Jin, X. and Abel, C. A. (2011) Comparison of major control strains of non-toxicogenic *Aspergillus flavus* for the reduction of aflatoxins and cyclopiazonic acid in maize, *Food Additives and Contaminants Part A* 28, 198-208.
- Abdalla, A.E. (1998). An evaluation of the durability of Sorghum grains in traditional and modified underground pits in central Sudan. Ph. D thesis, University of Gezira, Wad Medani, Sudan.
- Abdel-Rahim AM, Osman NA, Idris MO. 1989. Survey of some cereal grains and legume seeds for aflatoxin in the Sudan. *Zentralblatt für Mikrobiologie* 144:115-121
- Abdulrazzaq YM, Osman N, Yousif ZM, Trad O (2004). Morbidity in neonates of mothers who have ingested aflatoxins. *Ann Trop Paediatr.* 24(2):145-51.
- Abu Agla, S.(2002). Seed borne fungi of important food crops of the Gezira Scheme, Sudan. MSc. Thesis, University of Khartoum, Sudan.
- Adhikari M, Gita-Ramjee, Berjak P (1994). Aflatoxin, kwashiorkor, and morbidity *Natural Toxins.* 2(1):13.
- Afriyie-Gyawu, E. *et al.* (2008) Novasil clay intervention in Ghanaians at high risk for aflatoxicosis. I. Study design and clinical outcomes *Food Additives and Contaminants Part A* 25, 76-87.
- Ahmed, N.E., Abdalla, A.E., Adam, Y.S., Betjowck (2009). Fungi and mycotoxins associated with Sorghum grains in major storage systems in Gedarif, Sudan. A paper submitted to the 17th Board of Directors meeting of the national council for mycotoxins, December 2009, Sudanese Standards and Measurements Organisation, Sudan.
- Ahmed, N.E., S. Abu Agla, M. O. Idris, S. Elhussein (2008). Fungi associated with stored Sorghum grains and their effects on grain quality. *Life science*, 2(3):723-729.
- Ahmed, N.E., Abu Agla, Idris, M., S. Elhussein (2005) Fungal contamination of Sorghum grains, a possible threat to grain quality. Proceedings of 1st work shop in mycotoxins related health disorders in Sudan, 18-21 April, Khartoum, Sudan, p 1-12. Sudanese Standards and Metrology Organization in collaboration with Wageningen University, The Netherlands.
- Aoyama, K., Ishikuro, E., Nishiwaki, M and Ichinoe, M (2009). Zearalenone contamination and causative fungi in Sorghum. *J. Food Hyg. Soc. Japan.* 50 (2): 47 + -51
- Ambekar, S.S, Kamatar, M.Y, Ganesamurthy, K, Ghorade, R.B, Saxena, U, Chand, P, Jadav, B.D, Das, I.K, Nageshwararao, T.G, Audilakshmi, S, Seetharama, N (2011). Genetic enhancement of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) for grain mould resistance: II. Breeding for grain mould resistance. *African Journal of Microbiology Research*, 5(5)459-466
- Anjorin, S.T, Makun, H.A, and Iheneacho, H.E (2008). Effect of *Lippia Multiflora* leaf extract and *Aspergillus flavus* on germination and vigour indices of Sorghum *Bicolor* [L] (Moench). *International Journal of Tropical Agriculture and Food System*, 2 (1): 130 – 134.
- Ansari A.A. and Shrivastava A.K. 1990). Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in Sorghum and ragi from North Bihar, India. *Food Additive and Contaminants* 7(6), 815-820.
- Atanda, O.O. and Akano, D.A. 1999). The influence of storage period on the proximate composition of Sorghum (*Sorghum guineense*) stored in metal cribs. *Nigerian Journal of Microbiology* 13, 113 - 116
- Audilakshmi, S and Stenhouse, J W and Reddy, T P and Prasad, M V R (1999) Grain mould resistance and associated characters of Sorghum genotypes. *Euphytica*, 107 (2). pp. 91-103.
- Awika, J.M. and Rooney, L.W. 2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* 65: 1199 + -1221
- Ayalew, A., Fehrmann, H., Lepeschy, J., Beck, R., Abate, D., 2006. Natural occurrence of mycotoxins in staple cereals from Ethiopia *Mycopathol* 162, 57-63.
- Bandyopadhyay R, Frederickson D. E. McLaren N. W. Odvody G. N. Ryley M.J. (1998):
- Ergot: A New Disease Threat to Sorghum in the Americas and Australia. The American Phytopathological Society Publication no. D-1998-0218-01F Plant Disease / Vol. 82 No. 4 356 -367
- Bandyopadhyay, R., David R Butler, Arun Chandrashekar, R Kanaka Reddy, and Shrishail S Navi (2000). Biology, Epidemiology, and Management of Sorghum Grain Mold *in* Technical and Institutional options for Sorghum grain mould management: Proceedings of an international consultation, 18-19 May, 2000, ICRISAT, Patancheru, India. (Chandrashekar, A., Bandyopadhyay, R., and Hall, A.J. eds). Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Bandyopadhyay, R., Kumar, M., and Leslie, J.F.(2007). Relative severity of aflatoxin contamination of cereal crops in West Africa. *Food Additives and Contaminants* 24(10) 1109-1114.
- Bankole, S.A. and Adebajo, A (2004). Review: Mycotoxins in food in West Africa: current situation and possibilities of controlling it. *African Journal of Biotechnology* 2 (9):254-263.
- Beardall, J. M. and Miller, J.D (1994). Disease in humans with mycotoxins as possible causes. In Miller, J.D and Trenholm, H.L (Eds) *Mycotoxins in Grains: Compounds Other Than Aflatoxin*. Eagan Press. USA. 487 – 539.
- Bhat, R.V., Shetty, H.P.K and Vasanthi, S (2000). Human and animal significance of mycotoxins in Sorghum with special references to fumonisins pp 107-115. In Technical and Institutional options for Sorghum grain mould management: Proceedings of an international consultation, 18-19 May, 2000, ICRISAT, Patancheru, India. (Chandrashekar, A., Bandyopadhyay, R., and Hall, A.J. eds). Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

- Bhavanishankar, T.N. and Shantha, T., (1987). Natural Occurrence of Fusarium Toxins in Peanut, Sorghum and Maize from Mysore (India). *J. Sci. Food Agric.* 40: 327-332.
- Bilgrami, K.S and Sinha, K.K (1984). Mycotoxins in cereals. *Rev. Trop. Pl. Path.* 1: 355 + -374
- Campos, S.G., Cavaglieri, L.R., Fernandez Juri, A.M., Dalcero, C., Kruger, L.A.M. Keller, Magnoli, C.E., Rosa, C.A R. 2008. Mycobiota and aflatoxins in raw materials and pet food in Brazil. *J. Animal Physiology and Animal Nutrition* 92:377-383
- Chandrashekar, A., Bandyopadhyay, R., and Hall, A.J. (eds.). 2000. Technical and institutional options for Sorghum grain mold management: proceedings of an international consultation, 18-19 May 2000, ICRISAT, Patancheru, India. (In En. Summaries in En, Fr.) Patancheru, 502324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi- Arid Tropics. 299 pp. ISBN 92-9066-428-2. Order code CPE 129.
- Charmley, L.L., Rosenberg, A and Trenholm, H. L. (1994). Factors responsible for economic losses due to Fusarium mycotoxin contamination of grains, foods and feedstuffs. In: Miller J.D. and Trenholm, H.L (eds) *Mycotoxins in Grains: Compounds Other than Aflatoxin*. Eagan Press. St Paul, Minnesota. 471 –486.
- Chulze, S.N (2010). Strategies to reduce mycotoxin levels in maize during storage: a review. *Food Additives and Contaminants* 27(5): 651 + -657
- Connoles, M. D and Hill, M.W.M. 1970). *Aspergillus flavus* contaminated Sorghum grain as possible cause of aflatoxicosis in pigs. *Australian Veterinary Journal* 46,503-505.
- Council for Agricultural Science and Technology-CAST (2003). Mycotoxins risks in plant, animal and human systems. Interpretive summary available at http://www.cast-science.org/pubs/mycotoxins_is.pdf. Complete report available at: <http://www.cast-science.org/pubs/mycotoxins.pdf>.
- Codex Alimentarius Commission. 2011). Discussion paper on mycotoxins in Sorghum. Joint FAO/WHO Food Standards Programme CODEX Committee on contaminants in foods' 5th Session held in The Hague, The Netherlands on 21 – 25 March 2011.
- Creppy, E. E., Chiarappa, P., Baudrimont, I., Borracchi, P., Moukha, S. and Carratu, M. R. (2004) Synergistic effects of fumonisin B₁ and ochratoxin A: are *in vitro* cytotoxicity data predictive of *in vivo* acute toxicity? *Toxicology* 201, 115-123.
- Dada, J.D. (1979). Studies of fungi causing grain mould of Sorghum varieties in northern Nigeria with special emphasis on species capable of producing mycotoxins. M.Sc. thesis, Ahmadu Bello University, Zaria.
- Daiber KH, and Taylor JRN (1995) Opaque beers. In: Dendy DAV (ed) *Sorghum and Millets: chemistry and biotechnology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp 299 - 323.
- Dank, M. (2010) Treatment of primary hepatocellular carcinoma *Orv Hetil* 151, 1445-1449. (In Hungarian; abstract PubMed 20739261).
- da Silva, J.B., Pozzi, C.R., Mallozzi, M.A.B., Ortega, E.M. & Correa, B. (2000) Mycoflora and occurrence of aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ during storage of Brazilian Sorghum. *J. agric.Food Chem.*, 48, 4352–4356
- de Wet, J.M.J., Harlan, J.R., Huckabay, J.P. and Lu, M.H. 1966. Biosystematics of Sorghum, a report of progress. *Oklahoma Agric. Exp. Sta. Proc. Series* P-539.
- Dohlman, E (2003) Mycotoxin hazards and regulations impacts on food and animal feed crop trade. In Jean C. Buzby, editor *International Trade and Food Safety: Economic Theory and Case Studies*. Electronic Agricultural Economic Report No. 828 November 2003. Available at: www.ers.usda.gov.
- Elegbede J.A. 1978). Fungal and mycotoxin contamination of Sorghum during storage. M.sc thesis submitted to department of Biochemistry, Ahmadu Bello University, Zaria.
- Elzubir, A.O., Younis,MH., M. Himmat Fadul, Abdelrahim, M. Elhussein (2009 a). Determination of aflatoxin in animal feed and milk in Khartoum state, Sudan. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8(5): 1000 + -1003
- Elzubir, A.O., Susan, Z.A. Makawi, Abdelrahim, M. Elhussein (2009 b). Determination of aflatoxin and ochratoxin A in dairy cattle feed and milk in Wad Medani, Sudan. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8(12): 2508-2511.
- FAO (1994). Corporate Document Repository. Sorghum and millet in Human health Retrieved on 19/12/2011 from <http://www.fao.org/docrep/T0818E/T0818E0a.htm#Chapter%204-%20Chemical%20composition%20and%20nutritive%20value>
- FAO, 2003- Manual on the application of HACCP system to mycotoxin control. Retrieved on 13th May, 2011 from <http://www.fao.org/docrep/005/y1390e/y1390e00.htm>).
- FAO. 2005. Africa Report 3. Food Supply Situation and Crop Prospects in Sub-Saharan Africa (GLEWS). Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. Pp 1-69.
- FAOSTAT, (2010) Crops primary equivalent. Retrieved on 16th May, 2011 from www.faostat.fao.org.
- FDA, 2011, Hazard Analysis Critical Control Point. Retrieved on 13th May, 2011 from <http://www.fda.gov/food/foodsafety/hazardanalysiscriticalcontrolpointshaccp/default.htm>).
- Fellinger, A., 2006. Worldwide mycotoxin regulations and analytical challenges. World Grain Summit: Foods and Beverages, September 17–20, 2006, San Francisco, California, USA.
- Ferenci, P., *et al.* (2010) World gastroenterology organisation guideline. Hepatocellular carcinoma (HCC): a global perspective, *Journal of Gastrointestinal Liver Disease* 19, 311-317.
- Gbodi, T.A. 1986). Studies of mycoflora and mycotoxins in Acha, maize and cotton seed in plateau state, Nigeria. A Ph. D thesis, submitted to Department of Physiology and Pharmacology, Faculty of Veterinary Medicine, A.B.U, Zaria, pg. 1-213.
- Gbodi T.A. and Nwude, N. (1988). Mycotoxicosis in Domestic Animals. A Review. *Vet. Hum: Toxicol* 30(3): 235-245.

- Gelderblom WCA, Marasas WFO, Lebepe-Mazur S, Swanevelde S, Vessey CJ, Hall P de la M (2002) Interaction of FBs B₁ and aflatoxin B₁ in a short term carcinogenesis model in rat liver. *Toxicology* 171:161–173
- Ghali, R., Belouaer, I., Hdri, S., Ghorbel, H., Maaroufi, K. and Hedilli, A. (2009) Simultaneous HPLC determination of aflatoxins B₁, B₂, G₁ and G₂ in Tunisian Sorghum and pistachios. *Journal of Food Composition and Analysis* 22, 751–755
- Ghali, R., Khelifa, K. H., Ghorbel, H., Maaroufi, K. and Hedilli, A. (2008). Incidence of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in Tunisian foods. *Food Control* 19, 921–924
- Glenn, A.E (2007). Mycotoxigenic *Fusarium* species in animal feeds. *Animal Feed Science and Technology* 137, 213-240
- Gong YY, Cardwell K, Hounsa A, Egal S, Turner PC, Hall AJ and Wild CP. 2002. Dietary aflatoxin exposure and impaired growth in young children from Benin and Togo: cross sectional study; *British Medical Journal*; 325:20-21.
- Gong, Y.Y, Egal, S., Hounsa, A, Turner, P.C, Hall, A.J, Cardwell, K.F and Wild, CP (2003). Determinants of aflatoxin exposure in young children from Benin and Togo, West Africa: the critical role of weaning *International Journal of Epidemiology* 32:556-562
- Gong, Y Assomption Hounsa, Sharif Egal, Paul C. Turner, Anne E. Sutcliffe, Andrew J. Hall, Kitty Cardwell, and Christopher P. Wild (2004) Postweaning exposure to aflatoxin results in impaired child growth: A longitudinal study in Benin, West Africa. *Environmental Health Perspectives* 112 (13).
- Hagler, W.M. Jr., Bowman, D.T., Babadoost, M.; Haney, C.A., Swanson, S.P. 1987. Aflatoxin, zearalenone and deoxynivalenol in North Carolina grain Sorghum. *Crop Science*. 27:1273-1278.
- Hell, K. and Mutegi, C. (2011) Aflatoxin control and prevention strategies in key crops of Sub-Saharan Africa. *African Journal of Microbiology Research* 5(5): 459-466.
- Hendrickse RG, Coulter JB, Lamplugh SM, MacFarlane SB, Williams TE, Omer MI, Suliman GI, El-Zorgani GA(1983). Aflatoxins and kwashiorkor. Epidemiology and clinical studies in Sudanese children and findings in autopsy liver samples from Nigeria and South Africa. *Bull Soc Pathol Exot Filiales*; 76(5):559-66.
- IARC (1993). International Agency for Research on Cancer (1993). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some Naturally Occurring Substances, Food Items and Constituents, Heterocyclic Amines and Mycotoxins. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, pp.489 –521.
- IARC, (1976) Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972-Present (Multivolume work, P. V10 60 (1976)).
- ICRISAT, (2002). Aflatoxin contamination of groundnut – health and economic implications for India's rural poor. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (www.icrisat.org) International Rice Research Institute (IRRI, 1995). World Rice Statistics (1993-94).
- International Crop Research Institute for the Semi Arid Tropics (ICRISAT) (2008). Management of grain mold and mycotoxins in Sorghum. Retrieved from www.icrisat.org in October, 2011.
- International Crop Research Institute for the Semi Arid Tropics (ICRISAT) (2011). Fungi-Sorghum Retrieved from <http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org> in October, 2011.
- Javis, B (1971). Factors affecting the production of mycotoxins. *J. Appl. Bact.* 34(1):199-213.
- JECFA, (2000) WHO Food additives series:44 safety evaluation of certain food additives and contaminants: Zearalenone. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) (1998). Food additives series: 40 safety evaluation of certain food additives and contaminants Aflatoxins WHO Food Additives Series 40
- Kew, M. C. (2005) Prevention of hepatocellular carcinoma, *HPB* 7, 16-25
- Kotan, E., Alpsoy, L., Anar, M., Aslan, A. and Agar, G. (2011) Protective role of methanol extracts of *Cetraria islandica* against oxidative stress and genotoxic effects of aflatoxin B₁ in human lymphocytes *in vitro Toxicology and Industrial Health* 2011, In press.
- Laemmlein, F (2001). *Alternaria* diseases. <http://ucanr.org/freepubs/doors/8040.pdf>
- Lane, K.S, (2005). New support for FDA regulation of tobacco. Available at [www. Tobacco.org](http://www.Tobacco.org).
- Langouet, S., Coles, B., Morel, F., Becquemont, L., Beaune, P., Guengrich, P., F., Ketterer, B. and Guillouzo, A. (1995) Inhibition of CYP1A2 and CYP3A4 by oltipraz results in reduction of aflatoxin B₁ metabolism in human hepatocytes in primary culture *Cancer Research* 55, 5574-5579.
- Lata, J. (2010) Chronic liver disease as tumor precursors, *Digestive Diseases* 28, 596-599.
- Leslie, J. F., Zeller, K. A., Lamprecht, S. C., Rheeder, J. P., and Marasas, W.F. O. 2005. Toxicity, pathogenicity, and genetic differentiation of five species of *Fusarium* from Sorghum and millet. *Phytopathology* 95:275-283.
- Lillehoj, E.B.(1973) Feed sources and conditions conducive for production of aflatoxin ochratoxin, *Fusarium* toxins and Zearalenone. *Journal.American.Veterinary.Medical.Association.* 163(II): 1280-1283.
- Lincy, S. V, Chandrashekar, A, Narayan, M.S, Sharma, R and Thakur, R.P (2011). Natural occurrence of trichothecene-producing *Fusaria* isolated from India with particular reference to Sorghum. *World J Microbiol Biotechnol* (2011) 27:981–989
- Liu, Y. and Wu, F. (2010) Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: a risk assessment *Environmental Health Perspectives* 118, 818-824.
- Luongo D, De Luna RD, Russo R, Severino L (2008) Effects of four *Fusarium* toxins (FBs B₁, α -zearalenol, nivalenol and DON) on porcine whole-blood cellular proliferation. *Toxicon* 52:156–162

- Magan, N., and Aldred, D. (2007): Post-harvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology* 119: 131-139.
- Makun, HA, Gbodi, TA, Akanya, HO, Salako, EA and Ogbadu, GH (2009a). Fungi and some mycotoxins found in mouldy Sorghum in Niger State, Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences*. 5 (1): 05 – 17. Available at www.idosi.org.
- Makun, HA, Gbodi, TA, Akanya, HO, Salako, EA and Ogbadu, GH (2009a). Health implications of toxigenic fungi found in two Nigerian staples: Sorghum and rice. *African Journal of Food Sciences*. 3 (9): 250 – 256. Available online at www.academicjournals.org/AJFS
- Manjunath Hi, Sevugapperumal N, Thiruvengadam R, Theerthagiri A and Ramasamy S. Effect of Environmental Conditions on Growth of *Alternaria alternata* Causing Leaf Blight of Noni *World Journal of Agricultural Sciences* 6 (2): 171 -177.
- Manson, M. M., Ball, H. W. L., Barrett, M. C., Clark, H. L., Jumah, D. J., Williamson, G. and Neal, G. E. (1997) Mechanism of action of dietary chemoprotective agents in rat liver: induction of phase I and II drug metabolizing enzymes and aflatoxin B₁ metabolism *Carcinogenesis* 18, 1729-1738.
- Mansuetus, A.S.B., Odvody, G.N., Frederiksen, R.A and Leslie, J.F (1997). Biological species in the *Gibberella fujikuroi* species complex (*Fusarium* section *Liseola*) recovered from Sorghum in Tanzania. *Mycol. Res.* 101 (7): 815 - 820
- Mantle, P.G. and Waight, E.S. 1968). Dihydroergosine: A new naturally occurring alkaloid from the sclerotia of *Sphacelia Sorghi* MCR *Nature* 218: 581582.
- Marasas, W.F.O (2001). Discovery and occurrence of the fumonisins: A historical perspective. *Environmental Health Perspectives Supplements Volume 109, Number S2*.
- Matumba, L., Monjerezi, M., Khonga, E. B., Lakudzala, D.D. 2011). Aflatoxins in Sorghum, Sorghum malt and traditional opaque beer in southern Malawi. *Food Control* 22, 266-268
- Maxwell, S. M., F. Apeagyei, H. R. de Vries, D. D. Mwanmut, and R. G. Hendricks. 1989. Aflatoxins in breast milk, neonatal cord blood and sera of pregnant women. *J. Toxicol. Toxin Rev.* 8:1.
- Miller, J.D. (1995). Fungi and mycotoxins in grains: Implications for stored product research. *J. Stored. Prod. Res.* 31 (1): 1 + -16
- Mycopck, D.J. and Berjack, P. 1999. Paradoxical behaviour of seed-storage and field fungi: An overview. *S.Afr. J. Sci.* 88,371–375.
- Negedu, A., Atawodi, S.E. Ameh, J.B., Umoh, V.J., and Tanko, H.Y. 2011). Economic and health persepectives of mycotoxins: a review. *Continental J. Biomedical Sciences* 5 (1): 5-26.
- Neya, A and Le Normand, M. (1998) Responses of Sorghum genotypes to leaf anthracnose (*Colletotrichum graminicola*) under field conditions in Burkina Faso *Crop Protection* 17 (1) 47-53.
- Nikander, P. S., Seppala, T., Kilonzo, G.P., Huttunen, P., Saarinen, L., Kilma, E. *et al.* (1991) Ingredients and contaminants of traditional alcoholic beverages in Tanzania. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 85:133-135.
- Nkwe, D.O., Taylor, J.E., Siame, B.A. 2005. Fungi, aflatoxinas, fumonisin B₁ and zearalenone contaminating Sorghum-based traditional malt, wort and beer in Botswana. *Mycopathologia* 160:177-186
- Njobeh B. P., Dutton F. M., Makun, H.A (2010). Mycotoxins and human health: Significance, prevention and control In: Ajay K. Mishra, Ashutosh Tiwari, and Shivani B. Mishra (Eds) 'Smart Biomolecules in Medicine' VBRI Press, India 132-177
- Obidoo, O and Gugnani, H.C. 1992). Mycotoxins in Nigerian foods: causes, Consequences and remedial measures. In Z.S.C Okoye (ed) Book of proceedings of the first National Workshop on Mycotoxins held at University Jos, on the 29th November, 1990, 95-114.
- Odhav, B and Naicker, V (2002). Mycotoxins in South African traditionally brewed beers. *Food Additives and Contaminants* 19(1) 55-61.
- Odoemelam, S. A and Osu, C.I (2009). Aflatoxin B₁ contamination of some edible grains marketed in Nigeria. *E-Journal of Chemistry* 6 (2):308-314.
- Ogbadu, G. (1979) Effect of low gamma irradiation on the production of aflatoxin B₁ by *Aspergillus flavus* growing on *Capsicum annum* *Microbios letters* 10, 139-142.
- Ogbadu, G. and Bassir, O. (1979) Toxicological study of γ-irradiated aflatoxins using the chicken embryo *Toxicology and Applied Pharmacology* 51, 379-382.
- Ogbadu G (1980a) Influence of gamma irradiation of aflatoxin B₁ production by *Aspergillus flavus* growing on some Nigerian foodstuffs. *Microbios*; 27(107):19-26.
- Ogbadu, G. (1981) Ultra structural changes in gamma-irradiated *Aspergillus flavus* spores *Cytobios* 30, 167-171.
- Ogbadu, G. (1988) Use of gamma irradiation to prevent aflatoxin B₁ production in smoked dried fish *International Journal of Applied Instrumentation* 31, 207-207
- Ominski, K.H., Marquardi, R.R., Sinha, R.N and Abramson, D (1994). Ecological aspects of growth and mycotoxin production by storage fungi. In: Miler, J.D and Trenholm, H.L (1994). Mycotoxins in grains: Compounds other than aflatoxins. Eagan Press, St. Paul Minnesota, USA. 287-314.
- Onyike, N.B.N and Nelson, P.E (1992) *Fusarium* species associated with Sorghum grain from Nigeria, Lesotho and Zimbabwe. *Mycologia* 84 (3): 452 + -258
- Opadokun, J.S (1992). Occurrence of Aflatoxin in Nigeria food crops. A paper presented At the first National Workshop on Mycotoxins held on 29th November, 1990 at University of Jos. Book of proceeding pg. 50-60.
- Otsuki, T., Wilson, J.S. and Sewadeh, M., 2001. What price precaution? European harmonization of aflatoxin regulations and African groundnut exports. *European Review of Agricultural Economics* 28: 263-283.
- Peraica, M., Radic, B., Lucic, A., Pavlovic, M., 1999. Toxic effects of mycotoxins in humans. *Bull. W. H. O.* 77, 754–766.

- Pier AC, and McLoughlin ME (1985). Mycotoxic suppression of immunity. In: Lacey J, ed. Trichothecenes and other mycotoxins. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.,:507-19.
- Pietri, A., Bertuzzi, T., Agosti, B. and Donadini, G. (2010). Transfer of aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ from naturally contaminated raw materials to beer during an industrial brewing process. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. **27** (10): 1431 - 1439
- Pitt, J.I. and Hocking, A.D (2009). Fungi and food spoilage. Pg 398 Retrieved from www.book.google.com.ng in October, 2011
- Placinta, C.M., D'Mello, J.P.F. & Macdonald, A.M.C. (1999): A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with Fusarium mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology*, **78**: 21 + -37
- Porter, J.K., Charles W. Bacon, Gretchen Kulda, Emma M. Wray, and Filmore I. Meredith (1998) Alkaloids and Other Mycotoxins Associated with Ergot Damaged Sorghum. Proceeding of the 1998 Conference on the Status of Sorghum Ergot in North America
- Porter, J.K, Bacon C.W. and Robbins, J.D. (1974). Major alkaloids of *A. claviceps*. *Agric and food chem*. **22**,838-841.
- Prelusky. D.B and Rotter, R. (1994). Toxicology of mycotoxins. In Miller, J.D and Trenholm, H.L.Mycotoxins in grains: Compounds Other Than Aflatoxins. Eagan press U.S.A.359-403.
- ProMED, (2004). Aflatoxicosis, Human- Kenya. Available at www.promed.isid.harvard.edu
- Rabie CJ and Thiel PE (1985) Toxigenic fungi and mycotoxins in Sorghum malt. In: Proceedings of the 1st Scientific and Technical Convention. The Institute of Brewing Central and Southern Africa Section, Johannesburg, South Africa, pp252 - 265.
- Ratnadass, A, Marley, P.S., Hamada, M.A., Ajayi. O.et al (2003) Sorghum head-bugs and grain molds in West and Central Africa: I.Host plant resistance and bug–mold interactions on Sorghum grains *Crop Protection* **22**, 837–851
- Reddy, B.N., Nusrath, M., Nagamani, V., 1985. Aflatoxin and other mycotoxin contamination in Sorghum under field conditions. *Indian J. Bot.* **8**,135-137.
- Reddy, K.R.N., Raghavender, C.R., Reddy, B.N., and Salleh, B. (2010). Biological control of *Aspergillus flavus* growth and subsequent aflatoxin B₁ production in Sorghum grains. *African Journal of Biotechnology* **9** (27):4247-4250.
- Rodriguez, R., Masana, M. and Pensel, N (2003) Development of a food quality management system for the control of mycotoxins in maize and wheat. Available at: <http://www.cnia.inta.gov.ar>
- Roger, D.D. 2011). Deoxynivalenol (DON) and fumonisins B₁, (F B₁) in artisanal Sorghum opaque beer brewed in north Cameroon *African Journal of Microbiology Research* **5**(12) 1565-1567.
- Rustom, I.Y.S (1997). Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods *Food Chemistry* **59** (1):57-67.
- Ryle,M. 2010 Ergot affected and mouldy Sorghum.Department of employment, economic development and innovation,Australia. Primary industries and fisheries 28.
- Salifu A, (1981). Mycotoxins in short season in Northern Nigeria. *Samaru J. Agric. Res.* **1**,83-87.
- Scott, P.M (1994) *Penicillium* and *Aspergillus* toxins. In Miller, J.D and Trenholm, H.L (Eds) Mycotoxins in Grains: Compounds Other than Aflatoxin. Eagan Press. St. Paul, Minnesota. USA. 261-286.
- SFI, (2005). Report on food safety problems and issues in different regions of the world. Safe Food International Available at http://www.safefoodinternational.org/african_region_international_report.doc.
- Sharma, R, Thakur, R.P, Senthilvel, S, Nayak, S, Reddy, S.V, Rao, V.P and Varshney, R.K (2011). Identification and Characterization of Toxigenic Fusaria Associated with Sorghum Grain Mold Complex in India. *Mycopathologia* (2011) 171:223–230
- Shetty,P.H. and Bhat,R.V.1997. Natural occurrence of fumonisins B₁ and its co-occurrence with aflatoxin B₁ in Indian Sorghum, maize and poultry feed. *Journal of Agricultural Food Chemistry*.**45**;2170-2173.
- Sibanda L, Marovatsanga LT, Pestka JJ (1997) Review of mycotoxin work in sub-Saharan Africa. *Food Control* **8**:21–29 647.
- Siruguri, V., Ganguly, C. and Bhat, R.V. 2009). Utilization of mouldy Sorghum and *Cassia tori* through fermentation for feed purposes. *African Journal of Biotechnology* **8**(22): 6349-6354.
- Smith, T.K., Mehrdad, M. and Ewen, J.M. (2000) Biotechnology in the Feed Industry.*Proceedings of Alltech's 16th Annual Symposium*, Pp 383–390. Smith, J.E and Moss M.O. 1985). Mycotoxins: formation, analysis and significance. John Wiley & sons. Chichester, Britain, 1-143.
- Soliman, H.M (2003).. Mycoflora and mycotoxins in cereal grains in Delta, Egypt. *Mycobiology* **31** (4): 183 + -190
- Somda, I., Leth, V. and Sereme, P. (2007). Evaluation of lemongrass, Eucalyptus and neem aqueous extracts for controlling seed-borne fungi of Sorghum grown in Burkina Faso. *World Journal of Agricultural Sciences* **3** (2): 218 + -223
- Souheib O, Guiseppe M, Ahmed M, Abdelwahed G, Jordi M (2011). Determination of *Fusarium* mycotoxins enniatins, beauvericin and fusaproliferin in cereals and derived products from Tunisia. *Food Control*. **22** (8): 1373-1377.
- Speijers, G. J. and Speijers, M. H. (2004) Combined toxic effects of mycotoxins *Toxicology Letters* **153**, 91-98.
- Stoev, S; Gundasheva, D. Zarkov, I; Mircheva, T; Zapryanova, D; Denev, S; Mitev, Y;Daskalov, H; Dutton, M; Mwanza, M; Schneider, Y. 2011. Experimental mycotoxic nephropathy in pigs provoked by a mouldy diet containing ochratoxin A and fumonisin B₁. *Exp Toxicol Pathol*, doi:10.1016/j.etp.2011.01.008
- Suprasert, D.and Chulamarakot, T. (1999) Mycotoxin contamination in detected Sorghum in Thailand. *Food (Inst. Food Res. Products Develop, Kasartsart Univ.)*, **29**, 187–192

- Sydenham, E.W., Thiel, P.G., Marasas, F.O. 1988. Occurrence and chemical determination of zearalenone and alternariol monomethylether in Sorghum-based mixed feeds associated with an outbreak of suspected hyperestrogenism in swine. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 36:621-625.
- Taylor, J.R.N., Schober, T.J. and Bean, S.C. 2006). Novel foods and non-food uses for Sorghum and millet *Journal cereal science* 44 (3): 252 + - 271
- Tripathy, R. K., 1973. Aflatoxins in Sorghum grains infested with head moulds. *Indian Exp. Biol.*, 11:361-362.
- Trucksess, M. W., Cho, T. H., & Ready, D. E. (2000). Liquid chromatographic method for fumonisin B₁ in Sorghum syrup and corn-based breakfast cereals *Food Additives and Contaminants*, 17, 161–166.
- Turkez, H., and Geyikoglu, F. (2010) Boric acid: a potential chemoprotective agent against aflatoxin B₁ toxicity in human blood, *Cytotechnology* 62, 157-165.
- Tyagi, P.D. 1974). Sorghum disease in Nigeria. A paper presented at the International Workshop on Sorghum disease. Hyderabad, India. Dec. 11-15, 1974.
- Uraguchi, K. and Yamazaki, M. (1978). Toxicology: biochemistry and pathology of mycotoxins. Halsted press, Japan. 1-278.
- Uraih, W and Ogbadu, G (1980): Incidence of Aflatoxin in Nigerian Sorghum. *Microbios*. 10: 139 + -142
- US Grain Council (2000) Manual pp 1-42
- US Grain Council (2010). Sorghum. Retrieved on 19/12/2011 from <http://www.grains.org/Sorghum>
- Visconti, A and Sibilia, A (1994) *Alternaria* toxins. In Miller, J.D and Trenholm, H.L(eds). Mycotoxins in grains: Compounds Other than Aflatoxin. Eagan Press. St. Paul, Minnesota. USA:315-338.
- Wafa E.W.; Yahya R.S.; Sobh M.A.; Eraky I; El-Baz M; El-Gayar H.A.M.; Betbeder A.M.; Creppy E.E. 1998). Human ochratoxicosis and nephropathy in Egypt: A preliminary study *Human & Experimental Toxicology*, 17 (2): 124 + -129
- Wagacha, J.M., Muthomi, J.W., 2008. Mycotoxin problem in Africa: current status, implications to food safety and health and possible management strategies. *International Journal Food Microbiology*. 124,1-12.
- Waliyar F, Reddy SV, Lava Kumar P, Reddy BVS, Rai KN, Alur, Ashok S and Ravinder Reddy Ch. 2007. Surveillance for natural contamination of mycotoxins in Sorghum and pearl millet grains in Andhra Pradesh and Maharashtra states, India. Paper presented (Abstract page 294) in 2nd Asian congress of mycology and plant pathology, 19-22 December 2007, Osmania University, Hyderabad, Andhra Pradesh, India
- Wang, J.-S., Shen, X., He, X. H., Zhu, Y.-R., Zhang, B.-C., Wang, J.-B., Qian, G.-S., Kuang, S.-Y., Zarba, A., Egner, P. A., Jacobson, L. P., Munoz, A., Helzlsouer, Groopman, J. D. and Kensler, T. W. (1999) Protective alterations in Phase 1 and 2 metabolism of aflatoxin B₁ by oltipraz in residents of Qidong, People's republic of China *Journal of the National Cancer Institute* 91, 347-354.
- Wangikar PB, Dwivedi P, Sinha N, Sharma AK, Telang AG (2005) Teratogenic effects in rabbits of the simultaneous exposure to OTA and aflatoxin B₁ with special reference to microscopic effects. *Toxicology* 215:37-47
- Wilson T, Rabie CJ, Fincham JE, Steyn PS, Schipper MA (1984). Toxicity of rhizoxin A, isolated from *Rhizopus microsporus*, in laboratory animals. *Food Chem Toxicol*. 1984 Apr;22(4):275-81.
- World Health Organization (WHO), 2006. Mycotoxins in African foods: implications to food safety and health. AFRO Food Safety Newsletter. World Health Organization Food safety (FOS), Issue No. July 2006. www.afro.who.int/des.
- Wu, F. (2006) Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health and regulatory impacts *Transgenic Research* 15, 277-289.
- Wu, F. and Khlangwiset, P. (2010) Evaluating the technical feasibility of aflatoxin risk reduction strategies in Africa *Food Additives and Contaminants* 27, 658-676.
- Zafar, F., Yasmin, N., Hassan, R., Naim, T., Qureshi, A.A., 2001. A study on the analysis of ochratoxin A in different poultry feed ingredients. *Pak. J. Pharm. Sci.* 14,5-7.
- Zaied, C., Abid, S., Zorgui, L., Bouaziz, C., Chouchane, S., Jomaa, M., Bacha, H., 2009. Natural occurrence of ochratoxin A in Tunisian cereals. *Food Control* 20, 218-222

Lista de participantes

Presidente

Nigeria

Mrs. Denloye, Stella A.
 Director, Laboratory Services
 National Agency for Food and Drug
 Administration and Control, NAFDAC
 Oshodi- Lagos, Nigeria
 Central Laboratory Complex
denloye.s@nafdac.gov.ng

Participantes por países

Austria

Mrs Elke RAUSCHER-GABERNIG
 Austrian Agency for Health and Food
 Safety, AGES
 Department of Data, Statistics and Risk Assessment
 Spargelfeldstr. 191
 1220 Wien / Vienna
 Tel: +43-050-555-25706
 Email: elke.rauscher-gabernig@ages.at

Brasil

Schreiner Ligia Lindner
 Expert on Regulation
 General Office of Foods
 Brazilian Health Surveillance Agency
 Tel.: +55 61 3462 5399 ligia.schreiner@anvisa.gov.br

European Union (EU)

Mr. Frans VERSTRAETE
 European Commission
 Health and Consumer Directorate-General
 Tel.: ++32 – 2 – 295 – 63 59
 Email: frans.verstraete@ec.europa.eu

Ghana

Dr. Kafui KPODO
 Head of Chemistry Division
 Food Research Institute
 Council of Scientific and Industrial Research, Accra.
 Tel: +233 244 650 635
 Email: kpodofri@ghana.com
kafuikpodo@gmail.com
kafui@kpodo.net

Mr. Ebenezer Kofi ESSEL
 Head, Food Inspectorate
 Food Division
 Food and Drugs Board, Accra
 Tel: +0233 244 655 943
 Email: koonduntu@yahoo.co.uk

Ms. Joyce OKOREE
 Codex Contact Point Officer
 Ghana Standards Board, Accra
 Tel: +0233 244 381 351
 Email: joko88@yahoo.com; codex@gsb.gov.gh

Italia

Dr. Carlo Brera
 Italian International Institute of Health (ISS), Department of
 Veterinary Public Health and Food Safety
 GMO and Mycotoxin Unit – Head
 Viale Regina Elena, 299 – 00161
 Rome, Italy
 Email: carlo.brera@iss.it

Japón

Mr. Naofumi HAMATANI
 Associate Director
 Plant Products Safety Division
 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
 1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100 – 8950, Japan
 Email: naofumi_hamatani@nm.maff.go.jp

Mr. Wataru IIZUKA
 Section Chief
 Standards and Evaluation Division
 Department of Food Safety
 Ministry of Health, Labour and Welfare
 1-2-2 Kasumigaseki Chiyoda – ku, Tokyo 100-8916, Japan
 Email: codexj@mhlw.go.jp

Dr. Yoshiko SUGITA-KONISHI
 Director
 Division of Microbiology
 National Institute of Health Sciences
 1-18-1 Kamiyoga, Setagaya-ku, Tokyo 158-8501, Japan
ykonishi@nihs.go.jp

Nigeria

Dr. Hussaini Anthony MAKUN
 Senior Lecturer
 Department of Biochemistry
 Federal University of Technology
 P.M.B 65, Minna, Nigeria
 Tel.: +2348035882233
 Email: hussainimakun@yahoo.com
hussaini.makun@futminna.edu.ng

Mrs. Ogochukwu N. MAINASARA
 Ag. Director, Regulatory and Registration
 National Agency for Food and Drug
 Administration and Control, NAFDAC
 Oshodi- Lagos, Nigeria
 Central Laboratory Complex
 Tel.: +2348033217430
 Email: mainasara.o@nafdac.gov.ng

Mrs Jane O. OMOJOKUN
 Deputy Director, Regulatory Affairs
 National Agency for Food and Drug
 Administration and Control, NAFDAC
 Oshodi- Lagos, Nigeria
 Central Laboratory Complex
 Tel.: +2348033338184
 Email: omojokun.j@nafdac.gov.ng

Professor Gabriel O ADEGOKE
 Professor of Food Microbiology and Food Safety
 Dept of Food Technology, University of Ibadan, Ibadan
 Tel: 08023391029
 Email: goadegoke@yahoo.com

Dr. Olusegun ATANDA

President Mycotoxicology Society of Nigeria & Ag. Head of Department

Dept. Foodservice & Tourism and

University of Agriculture

P.M.B 2240, Post Code: 110001

Abeokuta, Nigeria

Tel: +234 8038339901, + 234 7029079670

Email: atandaoo@unaab.edu.ng

Mr. Abimbola O. ADEGBOYE

Assistant Director, Codex Unit

Regulatory Affairs Division

National Agency for Food &

Drug Administration & Control

NAFDAC, Lagos, Nigeria

Tel: + 234 805 317 0810(m)

Email: bimbostica@yahoo.com

Mr. Musa GEORGE

Assistant Director (Codex Unit)

Standards Organization of Nigeria

52, Lome Crescent

Wuse Zone 7

Abuja

Tel.: +234 8097594024

Email: bob_king_george@yahoo.com

mgeorge@sononline.org

Dr. Ranajit BANDYOPADHYAY

Plant Pathologist

International Institute of Tropical Agriculture (IITA)

Oyo Road, PMB 5320, Ibadan 200001

Oyo State, NIGERIA.

Tel: +234 (0)27517472, (0)8039784000, (0)8055055954

Mobile: +234 (0)8068681854

Fax: INMARSAT 873761798636

Email: r.bandyopadhyay@cgiar.org

Professor A. Babatunde OBILANA

Team Leader

Sorghum Transformation Value Chain Development Agricultural

Transformation Implementation Group

Federal Ministry of Agriculture and Rural Development, FMARD,

Abuja, Nigeria

Mobile: +234 (0)8033010966

Email: babaobilana@yahoo.com

Mrs Kemisola AJASA

Regulatory Affairs Manager

Nestle Plc

Ilupeju, Lagos

Nigeria

Email: kemisola.ajasa@ng.nestle.com

Alh. G. A. SOLABI

Director, Rambigas Nig Ltd

Suit 44/45, Galaxy Shopping Complex

Jida-Market Road, Agbara Ogun State

Nigeria

Tel: +234 80575992684

Email: adisas_rambigas@yahoo.com

Pakistan**Nasim BEGUM**

Tel: 092-51-9260121, 092-51-9260126

Fax: 092-51-9260234

Email: naseem190@hotmail.com

dg.fscrd@yahoo.com

Sudán**Dr Gaafar I.MOHAMED ALI**

Consultant in Agric. Research and Development

Tel.: +249912888440

Email: gaafaribrahim80@yahoo.com

Dr Nafeesa E. Ahmed

Sudan Agricultural Research Corporation

Tel.: +249923002323

Email: anafeesa34@yahoo.com

Mrs. Ibtihag B. E. ELMUSTAFA

Manager of Mycotoxin Center

Sudanese Standards & Metrology organization

Mycotoxin Center

P.O. Box 13573

249 Khratoum

SUDAN

Tel: +249915388777

Fax: +249183763727

Email: ibtihagbur@hotmail.com

Thailand**Mr. Pisan Pongsapitch**

Director, Office of Commodity and

System Standard, National Bureau of

Agricultural Commodity and Food

Standards, 50 Phaholyothin Road, Ladyao,

Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand

Tel: (+662) 561 2277

Fax: (+662) 561 3367, (+662) 561 3373

Email: codex@acfs.go.th

Estados Unidos de América**Dr Garnett E. WOOD**

Office of Food Safety (HFS-317)

FDA/Center for Food Safety and Applied Nutrition

5100 Paint Branch Pkwy

College Park, MD 20740

Tel.: 240-402-1942

Email: garnett.wood@fda.hhs.gov

FAO**Annika WENNBORG**

Senior Officer

FAO, JECFA Secretary

Email: Annika.Wennberg@fao.org