

ARTÍCULO TÉCNICO

Beatriz Abadía¹,
Germán Afanador¹,
Angel E. Céspedes²
y Gonzalo J. Díaz².

ABSTRACT

Title: Natural Occurrence of Aflatoxins in Hybrids Sorghum harvested on Alto Magdalena Microregion, Colombia

Presence of aflatoxins is relatively high in temperate, as well as in subtropical and tropical regions, causing large post-harvest losses. Government regulations for fungi or micotoxin contamination on stored grains are not available in Colombia. This study was conducted to determine actual levels of incidence, frequency and distribution of such metabolites in order to provide the basis for government regulations. Samples of sorghum grain grown in the region of Huila and Tolima (Alto Magdalena) were analyzed for aflatoxin using High Performance Liquid Chromatography. The results indicated that none of the sorghum samples collected immediately after harvest time (n=30) had detectable aflatoxin levels (lowest detectable level=1 µg/kg). However, 18.0 % of the samples stored under commercial conditions at the Savanna of Bogotá for a 6 month period had aflatoxin B₁ with a mean value of 5.1 µg/kg, ranging from 1.0 to 22.4 µg/kg. On the other hand, samples taken from the outer storage facility had the lowest levels with a 7.4 % incidence, and the samples taken from the inner had the highest values with an incidence of 26.5%. This finding indicates that presence of aflatoxin in sorghum is not homogeneously distributed. Aflatoxin contamination were below the maximum international allowable levels (20 µg/kg); thus, these levels are similar to the values reported worldwide in sorghum samples. These results indicate that sorghum handled and stored similarly as to the present study do not represent hazard for humans health or livestock in relation to the natural presence of aflatoxins.

Key words: Sorghum, aflatoxins, incidence, regulations, concentrations, contamination levels.

1. Programa Nacional de Nutrición Animal, Corpoica, C.I. Tibaitatá, Apartado Aéreo 240142-Las Palmas, Santa Fe de Bogotá, Colombia; 2. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Ocurrencia natural de aflatoxinas en sorgos híbridos cultivados en la microregión del Alto Magdalena, Colombia

RESUMEN

La ocurrencia de aflatoxinas en los granos es relativamente alta en las regiones templadas y los climas subtropicales y tropicales; su presencia ocasiona considerables pérdidas biológicas y económicas en la fase de poscosecha. Colombia carece de un programa serio y continuo de monitoreo sobre la contaminación por hongos y micotoxinas en las materias primas de los alimentos balanceados. El presente trabajo se realizó con el fin de establecer los niveles reales de incidencia, frecuencia y distribución de dichos metabolitos, datos con los cuales sea posible ofrecer directrices de regulación a nivel gubernamental para la comercialización de los granos. Con este objetivo se tomaron diferentes muestras de sorgo producido en Colombia (en la zona agrícola de los departamentos de Tolima y Huila, región conocida como Alto Magdalena), las cuales se analizaron para determinar analíticamente su contenido de aflatoxinas mediante la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia. Ninguna de las muestras de sorgo recolectadas inmediatamente después de la cosecha (n=30) mostró niveles detectables de aflatoxinas (límite de detección de la técnica analítica=1 µg/kg). Sin embargo, las muestras provenientes de sorgos almacenados durante seis meses en bodegas y silos comerciales de la Sabana de Bogotá, presentaron una incidencia de aflatoxina B₁ del 18,0%, con un contenido promedio de 5,1 µg/kg y un rango entre 1,0 y 22,4 µg/kg. Las muestras tomadas en el exterior de las planchas de almacenamiento, mostraron una incidencia mucho menor de infestación (7,4%) que aquellas tomadas en el interior de las mismas (26,5%), lo cual pone de manifiesto que la presencia de aflatoxinas en los granos almacenados no se distribuye de manera homogénea. Los niveles de contaminación por aflatoxinas se encuentran por debajo del nivel máximo permisible según patrones internacionales (20 µg/kg) y coinciden con lo reportado a nivel mundial para muestras de sorgo. Los resultados indican que el sorgo analizado no constituye una amenaza para la salud pública y la producción pecuaria en cuanto a la contaminación con aflatoxinas se refiere.

Palabras claves: Sorgo, aflatoxinas, incidencia, regulación, concentraciones, niveles de contaminación.

INTRODUCCIÓN

Las micotoxinas son metabolitos tóxicos secundarios producidos por cepas toxigénicas de varios géneros y especies de hongos. Los factores más importantes asociados con el crecimiento de hongos y la producción de micotoxinas son: humedad ambiental relativa, humedad del grano, disponibilidad de agua en el grano, temperatura de almacenamiento, ventilación y niveles de oxígeno atmosférico, integridad de la cutícula del grano y presencia de material extraño en el grano (Lacey, 1989). La producción de micotoxinas en alimentos de consumo humano o animal constituye un peligro potencial para la salud y la producción (Díaz, 1996).

Las aflatoxinas son el grupo de micotoxinas más importante desde el punto de vista de la salud pública, puesto que se consideran agentes carcinógenos potentes. Constituyen un grupo de metabolitos heterocíclicos sintetizados principalmente por los hongos *Aspergillus flavus* (Link) y *Aspergillus parasiticus* (Speare). Hasta el momento se han identificado 18 aflatoxinas diferentes; únicamente las aflatoxinas B₁, G₁, B₂ y G₂ ocurren de manera natural en substratos contaminados con cepas de *Aspergillus* aflatoxigénicos. Las demás (M₁, M₂, P₁, Q₁, aflatoxicol, etc.) son productos metabólicos de sistemas microbianos o animales (Smith y Ross, 1991).

La micotoxina más frecuentemente sintetizada por *A. flavus* y *A. parasiticus* es la aflatoxina B₁ (AFB₁), que se caracteriza por ser la más tóxica de todas las micotoxinas citadas. Los hongos del género *Aspergillus spp.* pueden crecer en una gran variedad de substratos, así como sobre la mayoría de alimentos de consumo humano y animal; éstos son susceptibles a la invasión de cepas aflatoxigénicas en cualquier momento de su producción, procesamiento, transporte y/o almacenamiento. En los granos almacenados, los factores que determinan el crecimiento de *Aspergillus spp.* y la producción de aflatoxinas son la humedad (tanto de la atmósfera de almacenamiento, como del grano) y la temperatura de almacenamiento. Una humedad relativa que oscile entre 80 y 85%, frente a una humedad del grano cercana del 17% y temperaturas entre 14° y 35°C, constituyen las condiciones ideales para la producción de aflatoxinas (Osweiler *et al.*, 1985). Estas condiciones se presentan corrientemente en las zonas agrícolas de los países tropicales como Colombia.

El sorgo (*Sorghum bicolor* L.) es uno de los granos que se utiliza con mayor frecuencia en la formulación de dietas para monogástricos en Colombia, y llega a representar entre el 55 y el 65% de inclusión en diferentes regímenes alimenticios, nivel que se considera alto. Este cereal se cultiva en diferentes zonas agroecológicas del país lo cual permite su evaluación en diversos nichos ecológicos. A nivel experimental, son pocos los estudios sobre la prevalencia de aflatoxinas en sorgo que se han llevado a cabo en el país; en los estudios realizados se han usado técnicas semicuantitativas de análisis, como la cromatografía en capa fina. A partir de esta información, es difícil determinar la ingerencia de las micotoxinas en la salud animal o la salud pública, ya que no existen datos sobre su incidencia natural. Por esta razón es indispensable realizar monitoreos para determinar, no sólo la incidencia de micotoxinas, sino también su nivel de contaminación; para ello es preciso valerse de técnicas analíticas altamente confiables y sensibles, tal como la cromatografía líquida de alta eficiencia.

En estudios previos (Tabla 1) que buscaban establecer la incidencia de aflatoxinas en el sorgo nacional, se empleó como única técnica analítica la cromatografía en capa fina. De Jimeno y colaboradores (1980) investigaron los niveles de AFB₁ en 115 muestras de sorgo recién cosechado (primera cosecha de 1979) provenientes de dos zonas productoras del país (Tolima-

Huila y Llanos Orientales); los resultados revelaron que el 7,8% de las muestras (9 de 115) presentaba niveles detectables de AFB₁, cuyos contenidos variaban en un rango entre 20 y 40 ppb (µg/kg), con una media de 24,4 ± 7,26 µg/kg. El nivel más alto (40 µg/kg) fue hallado en una muestra proveniente del Tolima-Huila. Por su parte, Cabrera y Zapata (1985) evaluaron los niveles de contaminación con aflatoxinas en sorgo del departamento del Meta correspondiente a las cosechas de 1984 y 1985; los resultados indicaron una bajísima incidencia de aflatoxinas pues solamente dos muestras, de un total de 100, mostraron niveles detectables de aflatoxinas y contenidos que estaban bajo el límite máximo permisible (4,4 y 8,2 µg/kg).

El presente trabajo reporta los niveles de aflatoxinas detectados luego de analizar muestras de diferentes lotes de sorgo nacional, tanto en granos recién cosechados como en granos almacenados durante 6 meses, en condiciones comerciales; la técnica analítica utilizada fue cromatografía en columna líquida, de alta eficiencia.

Materiales y métodos

1. Muestreo

Muestreo en sorgos recién cosechados. La primera muestra se tomó de sorgos provenientes del municipio de Espinal (departamento del Tolima) inmediatamente después de realizada la cosecha del grano. Las muestras se recolectaron antes de su almacenamiento, directamente de los camiones en donde se transportaba el grano, mediante una toma aleatoria con un total de 30 muestras de diferentes lotes de sorgo comercial; éstas comprendieron cuatro híbridos (HW, TW 65, ICI 730 y DK 61) y una variedad de Pioneer 3185. De cada bulto (75 kg) se tomaron aproximadamente 280 g hasta reunir una muestra de 5 kg; ésta se almacenó en bolsas de papel, según el método descrito por Whitaker *et al.* (1974), se sometió a secado térmico (65°C) durante 48 horas y se molió hasta obtener un tamaño de partícula de 1 mm en un molino Willey (Arthur Thomas & Co., Model 4). De la anterior muestra, molida y homogenizada, se tomaron 50 g como submuestra analítica y se le aplicó el análisis de aflatoxinas mediante la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia, utilizando el método que se describe más adelante. Así mismo, se realizaron análisis adicionales del porcentaje de humedad en el grano y el contenido de impurezas, con el fin de determinar si existía alguna relación entre estas variables y los niveles de aflatoxinas en la muestra.

Muestreo en sorgos almacenados. En la segunda fase del trabajo se recolectaron muestras de un lote de 1.700 toneladas de sorgo almacenado en condiciones comerciales, en una planta de alimentos balanceados localizada en la Sabana de Bogotá. El sorgo provenía de la zona Tolima-Huila, específicamente de las localidades de Guamo, Espinal, Lérida, Guayabal, Natagaima y Neiva. Dichas muestras se tomaron luego de 4 y 6 meses de permanecer almacenadas en planchas de 1.000 bultos de 75 kg cada uno. Se recolectaron 27 muestras de 5 kg cada una del exterior de las planchas y 34 muestras de 5 kg cada una del interior de las mismas. Las muestras se secaron a 65°C durante 48 horas y se sometieron a molienda y submuestreo simultáneo, mediante el uso de un molino Romer (Romer Labs, Romer Mill Series I, EUA). Al igual que en las muestras de sorgo recién cosechado, se tomaron 50 g para conformar la submuestra destinada al análisis de aflatoxinas.

2. Análisis

Los niveles de aflatoxinas se determinaron empleando un método estandarizado en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia (Díaz, 1995a), el cual se basa en el método descrito por Trucksess *et al.* (1994). Todos los solventes empleados fueron de grado reactivo analítico o grado HPLC. La submuestra analítica de 50 g se extrajo mediante una mezcla de acetonitrilo y agua (en proporción 84:16) durante una hora en agitador de vaivén. El extracto se dejó reposar durante 5 minutos, luego de los cuales se filtraron aproximadamente 5 ml en un tubo de ensayo de 15 ml de capacidad. El extracto filtrado se purificó a través de una columna multifuncional de marca Mycosep MFC-224 (Romer Labs, EUA). Una alícuota de 200 µl de extracto purificado se vertió en un vial de 3 ml de capacidad, con tapón de teflón, y se le añadieron 700 µl de una solución de derivatización compuesta de ácido trifluoroacético, agua y ácido acético (en proporción 2:7:1). La reacción de derivatización convierte las micotoxinas AFB₁ y AFG₁ a sus correspondientes formas hemiacetales, AFB_{2α} y AFG_{2α} respectivamente, las cuales presentan una fluorescencia mucho mayor que la de las aflatoxinas originales. La mezcla se homogenizó con un agitador de vórtice y se llevó a un baño térmico de 65°C durante 10 minutos, luego de lo cual se dejó enfriar a temperatura ambiente, se filtró a través de

una membrana con poros de 0,45 µm de diámetro y se inyectaron 50 µl en el cromatógrafo.

El cromatógrafo empleado (Shimadzu, Japón) consta de los siguientes componentes: bomba cromatográfica LC-9A; autoinyector SIL-6B; horno cromatográfico CTO-6A; detector de fluorescencia FLD-6A; controlador de sistema SCL-6B; integrador CR4-A. Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: columna analítica RP-18 (Supelco, EUA) de 25 cm x 4,6 mm, a una temperatura de 50°C; precolumna RP-18 de 20 cm x 4,6 mm (Supelco Pelliguard LC-18, EUA); fase móvil agua con metanol (en proporción 60:40); mezcla isocrática a un flujo de 1 ml/min. El orden de aparición o elución (*eluted*) de las aflatoxinas fue el siguiente: AFG₁ (AFG_{2a}), AFB₁ (AFB_{2a}), AFG₂ y AFB₂ con un tiempo de análisis de 20 minutos. La cuantificación espectrofotométrica se realizó usando un estándar externo para calibración de aflatoxinas (Sigma A-1022, EUA). El límite de detección de la técnica es de 1 ppb (µg/kg) para cada una de las cuatro aflatoxinas.

Resultados

En sorgos recién cosechados

Ninguna de las muestras (n=30) de sorgo recién cosechado mostró niveles detectables de las aflatoxinas B₁, B₂, G₁ y G₂ (límite de detección=1 µg/kg en cada aflatoxina). En todas las variedades analizadas, la humedad de las muestras osciló entre 14 y 18%, mientras los niveles de impurezas fueron de 3 y 4%. Puesto que no pudo ser demostrada la incidencia de aflatoxinas, no fue posible establecer la existencia de correlación entre la humedad, el nivel de impurezas y la concentración de aflatoxinas.

En sorgos almacenados

Los resultados de los análisis de aflatoxinas, aplicados en sorgos con seis meses de almacenamiento convencional en las condiciones de la Sabana de Bogotá, se indican en la Tabla 2. Debido a la diferencia (19,1%) en la incidencia de aflatoxinas, que se observó entre las muestras tomadas del interior de las planchas frente a aquellas provenientes del exterior de las mismas, los resultados se muestran por separado. Solamente se verificó contaminación con la aflatoxina B₁.

De las 27 muestras de sorgo tomadas del exterior de las planchas, sólo dos resultaron positivas a aflatoxina B₁ (7,4%) y sus valores fueron de 3,0 y 8,0 ppb (µg/kg), respectivamente. En contraste con esta baja incidencia, nueve de las 34 muestras

tomadas del interior de la plancha de almacenamiento mostraron contaminación con aflatoxina B₁, para conformar una incidencia del 26,5%. Como se puede observar en la Tabla 2, los valores de concentración de la aflatoxina B₁ encontrados en las muestras positivas fueron los siguientes (en µg/kg): 1,0; 1,0; 1,5; 1,7; 1,9; 2,0; 2,6; 10,8 y 22,4. Como ilustración de los resultados cromatográficos logrados, se puede observar la Figura 1 (estándar cromatográfico para las cuatro aflatoxinas consideradas) y la Figura 2 (22,4 µg/kg fue la mayor concentración de B₁ hallada). Los niveles de humedad detectados en los sorgos almacenados oscilaron entre 13,1 y 13,8%, y el nivel de impurezas, entre 1,7 y 2,0%. No se obtuvo correlación alguna entre el nivel de humedad y la contaminación con aflatoxinas.

Al aplicar la distribución de Poisson ($P(x) = \frac{\mu^x \cdot e^{-\mu}}{x!}$) a los resultados obtenidos, se encontró una probabilidad de ocurrencia de contaminación de 0,4 y 0,3 para los lotes muestreados en los camiones y del exterior de los arrumes de almacenamiento respectivamente. Ello indica que la distribución se asemeja a una forma simétrica y que, para ensayos posteriores procesados de la manera descrita en este trabajo, la mayoría de los datos analíticos caerán en la misma tendencia.

Sin embargo, las muestras tomadas del interior de las planchas de almacenamiento presentan una tendencia asimétrica, con una probabilidad de presentar contaminación por la aflatoxina B₁ de 0,1; lo cual no coincide con los niveles de micotoxina analizados cromatográficamente y confir-

ma la carencia de homogeneidad en la presentación de hongos (y por tanto, de aflatoxinas) en lotes muestreados al azar.

Los cálculos de probabilidad P(x) de Poisson son:

1. CAMIONES:

$$\mu = nP = 30 (0,03) = 0,9$$

$$P(x) = P(1) = \frac{1^1 \times e^{-1}}{1!} = \frac{1(0,36788)}{1} = 0,37 = 0,4$$

2. EXTERIOR:

$$\mu = nP = 27 (0,074) = 2$$

$$P(x) = P(2) = \frac{2^2 \times e^{-2}}{2!} = \frac{4 (0,13534)}{2 \times 1} = 0,27 = 0,3$$

3. INTERIOR:

$$\mu = nP = 34 (0,27) = 9$$

$$P(x) = P(9) = \frac{9^9 \times e^{-9}}{9!} = \frac{387.420.480(0,00012)}{362.880} = 0,13 = 0,1$$

Discusión

Las micotoxinas pueden ser producidas por los hongos toxigénicos, tanto en cultivos no cosechados, como durante el transporte y almacenamiento de los granos. Los hongos fitopatógenos, particularmente aquellos del género *Fusarium*, tienden a atacar las plantas en crecimiento a nivel de campo, originando contaminación por micotoxinas en granos aún no cosechados. En contraste, los hongos saprofitos (*Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*) atacan los granos durante su transporte o almacenamiento e inducen la formación de micotoxinas en los granos cosechados (Díaz, 1996).

La inexistencia de aflatoxinas que se observó en los sorgos recién cosechados se

Tabla 1. Incidencia promedio de contaminación del sorgo por aflatoxinas en diversos países.

País de procedencia	Número de muestras analizadas	Número de muestras positivas	Incidencia (%)	Rango (µg/Kg)	Referencia
Colombia	115	9	7,8	20	De Jimeno y otros, 1980
Colombia	100	2	2	3,8	Cabrera y Zapata, 1985
Estados Unidos	200	112	56	89	McMillan <i>et al.</i> , 1984
Costa Rica	42	8	19	115	García y otros, 1988
India	150	4	2,7	40	Ramakrishna <i>et al.</i> , 1990
India	30	12	40	139	Dhavan y Choudary, 1994
TOTAL	637	147	23,1		

Tabla 2. Incidencia de la aflatoxina B₁ en sorgos almacenados durante meses en la Sabana de Bogotá.

Ubicación en la plancha de almacenamiento	Número de muestras analizadas	Número de muestras positivas	Incidencia %	Promedio ±D.E. µg/kg	Rango µg/kg
Exterior	27	2	7,4	5,5 ± 3,53	5,0
Interior	34	9	26,5	5,0 ± 7,21	21,4
TOTAL	61	11	18,0	5,1 ± 6,55	

observó en los sorgos recién cosechados se puede atribuir al momento en que se llevó a cabo el muestreo, puesto que los hongos del género *Aspergillus* (productores de aflatoxinas) tienden a presentarse durante el almacenamiento; sólo bajo condiciones adversas al cultivo pueden llegar a infestar los granos antes de la cosecha.

Es durante el período de almacenamiento cuando los granos son más susceptibles a contaminarse con el hongo y, consecuentemente, con aflatoxinas; lo cual se puede apreciar en este trabajo, pues se presentó una incidencia del 18,0% en sorgos almacenados en contraste con la incidencia del 0% comprobada en sorgos recién cosechados.

La heterogeneidad en la contaminación de los granos con aflatoxinas quedó plenamente manifiesta en el presente estudio, en razón de las diferentes incidencias halladas en las muestras tomadas del exterior de las planchas comparadas con las tomadas del interior de las mismas.

En tanto que la incidencia de la contaminación con aflatoxina B₁ fue del 7,4% en las muestras provenientes del exterior de las planchas, la incidencia en las muestras del interior fue 3,6 veces mayor, llegando a 26,5%. Sin embargo, el nivel promedio de aflatoxina B₁ fue prácticamente igual en las muestras del exterior y del interior de las planchas (5,5 vs. 5,0 µg/kg, respectivamente). La mayor incidencia de aflatoxinas presente en el interior de las planchas de almacenamiento, se puede explicar por la condensación del agua en el interior de los bultos, ya que éstos sufren una exposición inicial a temperaturas altas dentro de los camiones que los transportan de la zona de acopio a la Sabana de Bogotá; la condensación de la humedad atmosférica se produce cuando los bultos se enfrían en virtud de la temperatura que allí predomina.

El promedio global de contaminación con aflatoxina B₁, en todo el lote de 1.700 toneladas, fue de 5,1 µg/kg; esta concentración se considera que se halla por debajo del máximo permisible en la mayoría de países con regulaciones para esta micotoxina (Díaz, 1995b). Ninguna de las muestras provenientes del exterior de las planchas, y solamente una de las muestras provenientes del interior, presentaron niveles de contaminación superiores al máximo permisible aceptado internacionalmente de 20 µg/kg. La incidencia total de aflatoxinas del 18% en los sorgos colombianos almacenados es mucho mayor que las incidencias de 7,8 y 2% reportadas por De Jimeno y col. (1980) y por Cabrera

y Zapata (1985), lo cual se ve en la Tabla 1. Esta diferencia se puede atribuir, en parte, al momento en que se realizó el muestreo y a la técnica analítica empleada por los investigadores citados; éstos emplearon la técnica de cromatografía en capa fina, la cual presenta una sensibilidad menor que la cromatografía líquida de alta eficiencia.

La incidencia de aflatoxinas en sorgo, a nivel mundial y nacional, se resume en la Tabla 1. A manera de ilustración se citan algunos ejemplos a continuación: en 200

muestras de sorgo precosechado tomadas en Georgia (Estados Unidos, EUA) durante 1980 y 1981, se reportó una incidencia de contaminación con aflatoxinas del 56% (McMillan *et al.*, 1984); la concentración de aflatoxinas osciló entre 1 y 90 ppb (µg/kg). En Costa Rica se encontró una incidencia de aflatoxinas del 19% en 42 muestras de sorgo recolectadas; el contenido promedio de aflatoxinas en estos sorgos contaminados fue de 71 ppb, mientras la máxima concentración encontrada en una muestra individual fue de 115 ppb, si bien

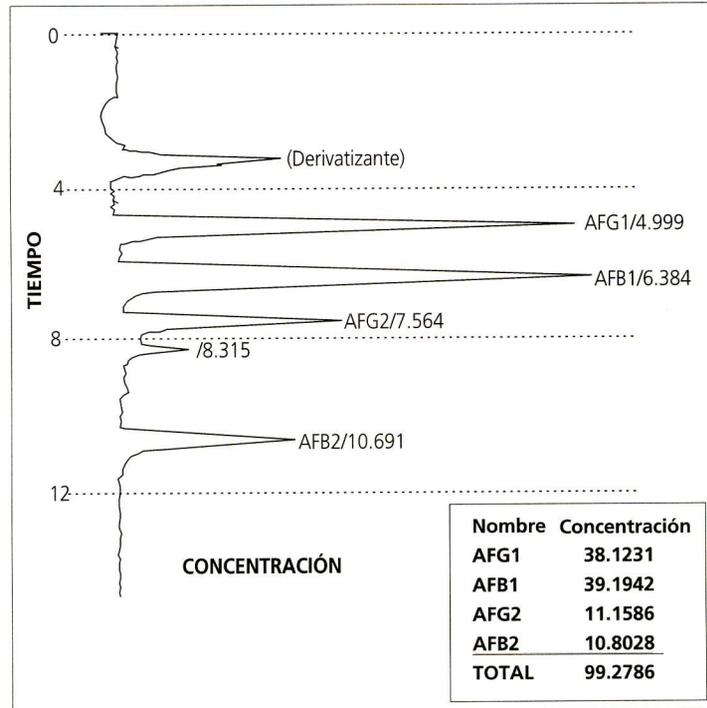


Figura 1. Estándar cromatográfico (HPLC) para las cuatro aflatoxinas consideradas. Picos obtenidos: 1) Aflatoxina G₁ (AFG₁); 2) Aflatoxina B₁ (AFB₁); 3) Aflatoxina G₂ (AFG₂); 4) Aflatoxina B₂ (AFB₂). Condiciones de la cromatografía líquida en columna RP-18 (25 cm x 4,6 mm ID, 5 µm); temperatura estufa= 50°C; fase móvil agua-metanol= 60:40; velocidad lineal= 5 cm/min; volumen de inyección= 50 ml.

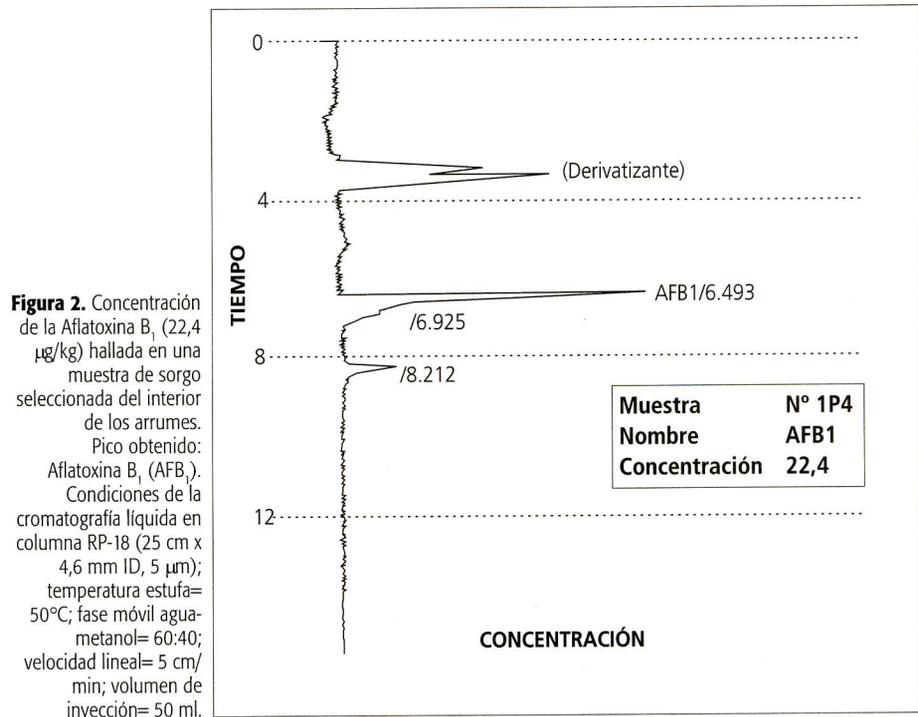


Figura 2. Concentración de la Aflatoxina B₁ (22,4 µg/kg) hallada en una muestra de sorgo seleccionada del interior de los arrumes. Pico obtenido: Aflatoxina B₁ (AFB₁). Condiciones de la cromatografía líquida en columna RP-18 (25 cm x 4,6 mm ID, 5 µm); temperatura estufa= 50°C; fase móvil agua-metanol= 60:40; velocidad lineal= 5 cm/min; volumen de inyección= 50 ml.

no se reportó el límite de detección de la técnica utilizada (García y otros, 1988). En la India, se sometieron a análisis un total de 150 muestras de sorgo procedentes de la región de Andhra Pradesh para determinar la incidencia de AFB₁ (Ramakrishna *et al.*, 1990); solamente 4 muestras presentaron contaminación con AFB₁ con contenidos que oscilaron entre 20 y 60 ppb. En este mismo país, Dhavan y Choudary (1994) encontraron una incidencia de aflatoxinas del 40% en 30 muestras de sorgo, cuyos niveles de aflatoxinas variaron entre 6 y 145 ppb. Los resultados logrados muestran una incidencia de aflatoxinas en sorgo similar a la reportada a nivel mundial (18,0% vs. 13,1%). De manera análoga, los niveles de aflatoxinas encontrados en el presente trabajo (entre 1,0 y 22,4 µg/kg) se ubican dentro del rango reportado internacionamente (1,0 a 145 µg/kg).

Los resultados del presente trabajo indican que el sorgo recién cosechado presenta una incidencia mínima de aflatoxinas y que el sorgo almacenado en las condiciones comerciales de la Sabana de Bogotá (humedad entre 13,1 y 13,8%; impurezas de 1,7 a 2,0%), presenta niveles de contaminación con aflatoxina B₁ por debajo del nivel máximo permisible aceptado internacionalmente. Se puede concluir que el sorgo analizado en el presente trabajo no representa una amenaza para el productor pecuario, ni un riesgo para la salud animal, en cuanto a los posibles efectos de la contaminación con aflatoxinas.

En un futuro desarrollo de este trabajo, se pretende muestrear sorgo producido y almacenado en zonas climatológicamente críticas del país, como la Depresión Momposina, lo cual permitirá ampliar el horizonte de conocimientos sobre la problemática de estos metabolitos tóxicos. Ello se justifica por la importancia del cultivo del sorgo en aquella zona—localizada en la región Caribe—, y porque provee la materia prima para la manufactura de alimentos balanceados para animales a Santander y Norte de Santander, departamentos que se caracterizan por poseer un gran desarrollo de la agroindustria avícola y una notable infraestructura agroindustrial de transformación.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, J. y Zapata, L. 1985. Identificación y estimación del nivel de contaminación de aflatoxinas en maní del Tolima y sorgo del Meta: año agrícola 1984-1985. Colciencias. Bogotá.
- De Jimeno, M.C., Ruiz, N. y Peña, N.E. 1980. Niveles de aflatoxina B₁ en sorgo recolectado en dos zonas del país: primera cosecha 1979. Revista ICA 15:120-134.
- Dhavan, A.S. y Choudary, M.R. 1994. Incidence of Aflatoxins in Animal Feedstuffs: a decade's scenario. Journal of the Association of Official Analytical Chemists International 78:693-698.
- Díaz, G.J. 1995a. Análisis de aflatoxinas por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). En: Métodos analíticos del Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 124 pp.
- Díaz, G.J. 1995b. Regulación de niveles máximos tolerables de micotoxinas en materias primas y alimentos terminados. Veterinaria al Día 1(3):22-27.
- Díaz, G.J. 1996. Micotoxinas y micotoxicosis en la salud humana y animal; primera parte. Veterinaria al Día 2(1):28-34.
- García, Y., Quiróz, L. y Hernández, F. 1988. Contenido de aflatoxinas en sorgo y maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. Agronomía Costarricense 12:67-71.
- Lacey, J. 1989. Prevention of mould growth and mycotoxin production through control of environmental factors. pp 161-169. In: Nattori, S., Hashimoto, K. and Ueno, Y. (Eds.). Mycotoxins and Phycotoxins'88. Elsevier. Amsterdam.
- McMillian, W.W., Wilson, D.M., Mirocha, C.J. y Windstrom, N.W. 1983. Mycotoxin contamination in grain sorghum from fields in Georgia and Mississippi. Cereal Chemistry 60:226-227.
- Osweiler, G.D., Carson, T.L., Buck, W.E. and Van Gelder, G.A. 1985. Clinical and Diagnostic Veterinary Toxicology. 3rd edn. Kendall/Hunt. Iowa. p. 409-450.
- Ramakrishna, Y., Bhat, R. y Vasanthi, S. 1990. Natural occurrence of Mycotoxin in staple foods in India. Journal of Agriculture and Food Chemistry 38:1857-1859.
- Smith, J.E. y Ross, K. 1991. The toxigenic Aspergilli. pp. 101-118. In: Smith, J.E. and Henderson, R.S. (Eds.). Mycotoxins and Animal Foods. CRC Press. Boca Ratón. U.S.A.
- Trucksess, M.W., Stack, M.E., Nesheim, S., Albert, R.H. y Romer, T.R. 1994. Multifunctional column coupled with liquid chromatography for determination of aflatoxins B₁, B₂, G₁ and G₂ in corn, almonds, Brazil nuts, peanuts, and

pistachio nuts: Collaborative study. Journal of the Association of Official Analytical Chemists International 77:1512-1521.

Whitaker, T.B., Dickens, J.W. y Monroe, R.J. 1974. Variability of aflatoxin test results. Journal of American Oil Chemistr 51:214-218.