

Salud animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

Frecuencia de la contaminación de leche cruda de vaca por aflatoxina M1 en tanques de enfriamiento en Boyacá, Colombia

Frequency of contamination of raw cow's milk by aflatoxin M1 in cooling tanks in Boyacá, Colombia

 Luis Edgar Tarazona-Manrique ¹  Roy José Andrade-Becerra ^{1*}
 Julio César Vargas-Abella ¹

¹Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia.

*Autor de correspondencia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Avenida Central del Norte 39-115. Tunja, Colombia. Roy.andrade@uptc.edu.co

Recibido: 16 de junio de 2020
Aprobado: 08 de noviembre de 2021
Publicado: 24 de marzo de 2022

Editor temático: María del Pilar Donado Godoy, (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Bogotá, Colombia.

Para citar este artículo: Tarazona-Manrique, L. E., Andrade-Becerra, R. J., & Vargas-Abella, J. C. (2022). Frecuencia de la contaminación de leche cruda de vaca por aflatoxina M1 en tanques de enfriamiento en Boyacá, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2), e2058. DOI https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2058

Resumen: En animales, el consumo de alimentos fermentados contaminados con mohos productores de micotoxinas, principalmente del género *Aspergillus*, permite la presencia de aflatoxinas en leche cruda, lo que desencadena una problemática de salud pública. El objetivo del presente trabajo fue detectar las concentraciones y la frecuencia de aflatoxina M1 en muestras de leche cruda de vacas, almacenada en tanques de enfriamiento en cuatro municipios del departamento de Boyacá, Colombia, durante un año, para determinar las variaciones de acuerdo con la temporada. El estudio planteado fue longitudinal, de tipo descriptivo cuantitativo. Cuatro tanques de enfriamiento fueron seleccionados a conveniencia en cuatro municipios distintos del departamento y fueron muestreados dos veces al mes durante todo un año. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias estadísticas entre las concentraciones de la aflatoxina M1 por cada trimestre. Se encontraron diferencias estadísticas entre cada uno de los trimestres del estudio: 135 muestras arrojaron resultados positivos de un total de 384 muestras colectadas en todo el estudio. La concentración máxima de la toxina fue determinada en la época seca, con un valor de 2,4 µg/kg, mientras que el valor máximo en la época de lluvias fue de 1,4 µg/kg. Se determinó por primera vez en el departamento de Boyacá las concentraciones y variaciones estacionales de aflatoxina M1 en muestras de tanques de enfriamiento de leche, donde se hallaron las mayores concentraciones y número de casos positivos de aflatoxina M1 en los meses de época seca.

Palabras clave: *Aspergillus* spp., hongos de moho, salud pública, toxicología.

Abstract: The consumption, by animals, of fermented foods contaminated with mycotoxin-producing molds, mainly of the genus *Aspergillus*, allows the presence of aflatoxins in raw milk, generating a public health problem. The objective of the present work was to detect the concentrations and frequency of aflatoxin M1 in samples of raw milk from cows, stored in cooling tanks in four municipalities of the department of Boyacá for one year, determining the variations according to the season. The proposed study was longitudinal, descriptive and quantitative. Four cooling tanks were selected at convenience in four different municipalities of the department and were sampled twice a month for a whole year. An ANOVA was performed to determine the statistical differences between aflatoxin M1 concentrations for each period. Statistical differences were determined between each of the quarters of the study, 135 positive results were found from a total of 384 samples collected throughout the study. The maximum concentration of the toxin was found in the dry season with a value of 2.4 µg/kg, while the maximum value in the rainy season was 1.4 µg/kg. The concentrations and seasonal variations of aflatoxin M1 in samples from milk cooling tanks were determined for the first time in the department of Boyacá, finding the highest concentrations and number of positive cases of aflatoxin M1 in the dry season.

Keywords: *Aspergillus* spp., mold fungus, public health, toxicology.



Introducción

Mohos como *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius*, *A. bombycis*, *A. ochraceoroseus* y *A. pseudotamari* (Nemati et al., 2010), pueden contaminar los alimentos suministrados al ganado en épocas en donde las pasturas se ven altamente afectadas por procesos de sequía. En estas temporadas, los granjeros lecheros se ven forzados a la utilización de alimentos fermentados que, si no son fabricados o almacenados correctamente, por ejemplo, con poco control de humedad, temperaturas elevadas por largos periodos de tiempo, fallas en la composición del sustrato, tiempo y condiciones de almacenaje, permiten el crecimiento de los mohos y la producción de aflatoxinas producto de su metabolismo intermedio (Battacone et al., 2012; Giovati et al., 2015; Iqbal et al., 2015; Oliveira et al., 2014).

Los principales productos utilizados en el país para la fabricación de estos alimentos son los siguientes: arroz, cebada, frijol, maíz y trigo, y todos estos son susceptibles de contaminación con aflatoxinas, con *A. flavus*, siendo el moho que contribuye en mayor medida en la contaminación de los granos en los procesos de pre y poscosecha de los alimentos (Sarma et al., 2017).

Las aflatoxinas son un grupo de compuestos heterocíclicos, y se dividen principalmente en aflatoxina B1 (AFB1) —que puede llegar hasta la leche—, aflatoxina B2 (AFB2), aflatoxina G1 (AFG1) y aflatoxina G2 (AFG2) (De Roma et al., 2017; Temamogullari & Kanici, 2014). El consumo de este tipo de toxinas genera en el animal alteraciones de tipo reproductivo como fallas en la tasa de concepción y efectos en la producción, tales como la reducción en hasta un 25 % en la producción de leche y disminución en la ganancia de peso; además de ello, puede generar disfunción gastrointestinal, reducción en la eficiencia y utilización alimenticia, anemia e ictericia. Asimismo, las aflatoxinas B1, M1 y G2 han sido reportadas como agentes carcinogénicos en diferentes especies animales (Iqbal et al., 2015; Sarma et al., 2017).

El subproducto tóxico encontrado en la leche es el resultado de la metabolización de la AFB1 a nivel hepático con la enzima citocromo p450, y se conoce como aflatoxina M1 (AFM1) (Gonçalves et al., 2017; Temamogullari & Kanici, 2014; Zinedine et al., 2007). Estudios han determinado que el porcentaje de paso de la toxina a la leche es de entre 1 % y 6,2 % del total de AFB1 consumida, que dependerá de factores como la genética, la variación climática, el proceso de ordeño y las condiciones medioambientales; sin embargo, en términos generales aparece entre 12 y 24 horas desde el consumo de la AFB1 y puede mantenerse hasta 72 horas (De Roma et al., 2017; Fernandes et al., 2012; Skrbic et al., 2014).

La AFM1 está clasificada por la International Agency for Research on Cancer (IARC, 2002) en el grupo 1 de agentes carcinogénicos para el ser humano y los animales. Además, tiene la propiedad de ser estable durante la ultrapasteurización o la pasteurización, o a procesos de producción de quesos o yogur que, a pesar de reducir la cantidad de toxina presente, no la eliminan por completo (Fernandes et al., 2012; Iha et al., 2013; Temamogullari & Kanici, 2014).

En Colombia, la normativa nacional fija, a través de la Resolución 4506 del 2013, el límite máximo para la presencia de este contaminante en 0,5 µg/kg (Ministerio de Salud y Protección Social [Minsalud], 2013). Teniendo en cuenta los riesgos que representa para la salud humana la presencia de esta toxina en productos de consumo humano directo, se han determinado a nivel mundial diversos límites de tolerancia para su presencia en la leche. Sin embargo, en el país no

se ha realizado ningún estudio en muestras de tanques de enfriamiento durante diversos meses abarcando múltiples municipios de un departamento.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue detectar la presencia de AFM1 en leche cruda de vaca, proveniente de tanques de enfriamiento ubicados en cuatro municipios distintos del departamento de Boyacá, Colombia, con el fin de evaluar las posibles diferencias de la concentración de la toxina entre temporadas climáticas.

Materiales y métodos

Tipo y sitio de estudio

Un estudio longitudinal de tipo cuantitativo descriptivo con muestreo por conveniencia fue seleccionado para el desarrollo de la investigación. Los cuatro municipios incluidos fueron seleccionados, de forma aleatoria, de un grupo de municipios conocidos como “cordón lechero boyacense” (Tarazona et al., 2019): Duitama, Paipa, San Miguel de Sema y Sogamoso. De cada municipio, fueron seleccionados cuatro tanques de enfriamiento, con capacidad de 2.000 L cada uno, que mantenían la leche a una temperatura entre 4 °C y 6 °C. Cada uno de los tanques estaba en una vereda diferente de cada municipio.

Animales incluidos en el estudio

Los animales incluidos en el estudio provenían de pequeños sistemas productivos que se asociaban en cada uno de los municipios y recolectaban la leche en puntos céntricos, en donde estaban ubicados los tanques de enfriamiento. La alimentación en cada una de las granjas en época de lluvias, sin importar el municipio, consistía en pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum*) en mezclas, con diferentes proporciones, de trébol rojo (*Trifolium pratense*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), principalmente.

En épocas secas, las asociaciones brindaban a los productores alimentos fermentados preparados o adquiridos, la mayoría de ellos con más de tres meses de almacenamiento en bodegas. En Duitama, Paipa y San Miguel de Sema, los alimentos fermentados los constituían principalmente ensilaje de maíz y ensilaje de avena forrajera. En Sogamoso, se suministraba ensilaje de maíz. Estos datos fueron recopilados de acuerdo con la información suministrada por parte de los productores; sin embargo, no se evaluó la calidad de estos alimentos al momento de suministrarlos a los animales.

Sistema de producción lechera

Los sistemas de producción de leche en los municipios evaluados consistían en animales de entre uno y ocho partos, con principal disposición de raza Holstein y sus cruces con razas Jersey, Normando y Pardo Suizo. El ordeño era de tipo mecánico y se realizaba dos veces al día, con variación de tiempo entre cada municipio. La leche del ordeño de la mañana era llevada inmediatamente al tanque de enfriamiento para su venta ese día, mientras que la leche de la tarde era también llevada al tanque de enfriamiento, pero almacenada allí hasta el día siguiente, para ser reunida con la leche producto del ordeño de la mañana. El número de granjeros por cada tanque de enfriamiento oscilaba entre 15 y 25.

Toma de muestras

La recolección de muestras inició en enero del 2018 y se extendió durante doce meses consecutivos hasta llegar a diciembre del mismo año. El muestreo de cada tanque de enfriamiento incluido fue realizado dos veces por mes, con un intervalo entre cada uno de ellos de 15 días; para poder realizarlo, el tanque debía estar completamente lleno (Tarazona et al., 2019). Siguiendo las indicaciones de De Roma et al. (2017), cada muestra de cada tanque estaba constituida por una cantidad total de leche de 1.000 mL, que fueron almacenadas en un recipiente de plástico sin aditivos, transportadas en frío a una temperatura entre 4 °C y 6 °C. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de la Calidad de Leche y Control de Mastitis de la Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en Tunja, Boyacá para procesarlas el mismo día de su recolección.

Detección de aflatoxina M1

La determinación de la aflatoxina M1 se realizó a través de la metodología analítica *Rapid OneStep Assay* (ROSA), en un instrumento Charm Ez Lite® de la compañía analítica Charm Sciences Inc., que, según reporte de la compañía y otras investigaciones, detecta la AFM1 a partir de 0,5 µL/L (o µg/kg) y cuenta con una especificidad del 96 % (Villar et al., 2012).

Para utilizar el equipo, el paso inicial es su calentamiento previo a la introducción de la muestra a una temperatura de 56 °C durante un minuto; luego, se introducen dos tiras para la detección de AFM1 en el equipo: una como control positivo y la otra como control negativo, con el fin de estandarizarlo. Después, se introduce la tira que fue posteriormente inoculada con la leche de muestra, que a su vez debió ser homogeneizada a través de 25 movimientos manuales en forma de arco durante siete segundos totales; luego, con una pipeta de 300 µL, se toma una muestra, teniendo cuidado de no generar burbujas en su interior y, por último, se inocula la cantidad total tomada en la pipeta en la tira que se encuentra en el equipo. Esta muestra se deja incubar durante ocho minutos, para finalmente leer los resultados que aparecen en la pantalla del equipo, los cuales arrojan la concentración de la aflatoxina presente en la muestra en valores de µg/kg.

Determinación de los trimestres

Para efectuar la comparación entre las diferentes temporadas climáticas del año, se agruparon los meses de estudio en trimestres, de acuerdo con lo reportado por el Instituto Colombiano de Meteorología, Hidrología y Estudios ambientales (IDEAM, 2020), que separa las temporadas climatológicas del país en dos, principalmente, con dos períodos para cada una: 1) época seca, cuyo primer periodo comprende de enero a marzo y el segundo, de octubre a diciembre; y 2) época de lluvias, cuyo primer periodo comprende de abril a junio y el segundo, de julio a septiembre. La diferencia entre estas dos épocas es la intensidad de las lluvias.

Análisis estadístico

Las muestras de leche fueron agrupadas de acuerdo con los trimestres generados. Se determinaron los valores mínimos y máximos, así como la media y la desviación estándar para las concentraciones de la AFM1 en cada trimestre. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) entre temporadas climáticas mediante comparaciones del promedio de las mínimas diferencias significativas del procedimiento de Fisher, con un nivel de confianza del

95 %, utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurión, versión Windows 10 (Xiong et al., 2013).

Resultados

A lo largo de todo el estudio, fueron recolectadas y procesadas 384 muestras de leche cruda de tanques de enfriamiento ubicados en cuatro municipios distintos del departamento de Boyacá. Se determinó un total de 135 muestras positivas totales durante los doce meses del estudio.

A través del análisis estadístico, se establecieron diferencias significativas para el promedio de la concentración de AFM1 entre los trimestres de épocas secas y épocas de lluvias, determinando que los mayores valores se presentaron en la primera época seca, con valores que oscilaron entre 0,8 µg/kg y 2,4 µg/kg, sin diferencias estadísticas entre las dos épocas secas. Por otro lado, los menores valores se detectaron en los trimestres de invierno sin diferencias estadísticas entre estos dos trimestres, con unos valores máximos que oscilaron entre 0,6 µg/kg y 1,4 µg/kg, dados para la época de lluvias 2. Asimismo, el mayor porcentaje de casos se determinó en los trimestres de verano (tabla 1).

Tabla 1. Detección de AFM1 en muestras de leche cruda de tanques de enfriamiento en diferentes temporadas en Boyacá

Temporada	Total de muestras	Total de muestras positivas	Positivos ^a % (n)	Concentración AFM1 (µg/Kg)		
				Mínimo	Máximo	Media ± DE
Época seca 1	96	40	29,62	0,8	2,4	1,60 ± 0,8 ^b
Época de lluvias 1	96	21	15,55	0,7	1,1	0,90 ± 0,20 ^a
Época de lluvias 2	96	18	13,33	0,6	1,4	1 ± 0,40 ^a
Época seca 2	96	56	41,48	0,9	1,8	1,35 ± 0,45 ^b
Total	384	135	35,15	0,6	2,4	1,50 ± 0,9

^a Las muestras positivas fueron aquellas en las que la concentración de AFM1 en la leche cruda sobrepasó los límites de cuantificación del equipo (> 0,5 µg/kg). Los valores entre paréntesis corresponden al número de casos (n) que fueron positivos por temporada y el porcentaje de cada temporada es entendido tomando como 100 % los 135 casos positivos. Las letras en superíndice indican la pertenencia a un mismo grupo estadístico; aquellos valores con letras diferentes corresponden a grupos estadísticamente diferentes con un nivel de confianza del 95 %.

Fuente: Elaboración propia

La distribución del número de muestras positivas en cada uno de los municipios, distribuidos de acuerdo con las temporadas climáticas determinadas, se muestra en la figura 1. Se ve cómo en las épocas secas, tanto la primera como la segunda, se obtuvo el mayor número de muestras positivas en todos los municipios, en contraste con las épocas lluviosas que, aun cuando presentaron casos positivos, fueron menores e, incluso, como fue el caso del municipio de San

Miguel de Sema, en la segunda época de lluvias no existió ninguna muestra positiva. Interessantemente, se determinó un comportamiento en el que la segunda época seca se constituyó como el momento en el que existió un mayor número de casos en todos los municipios incluidos, comparándola con la primera época seca del año.

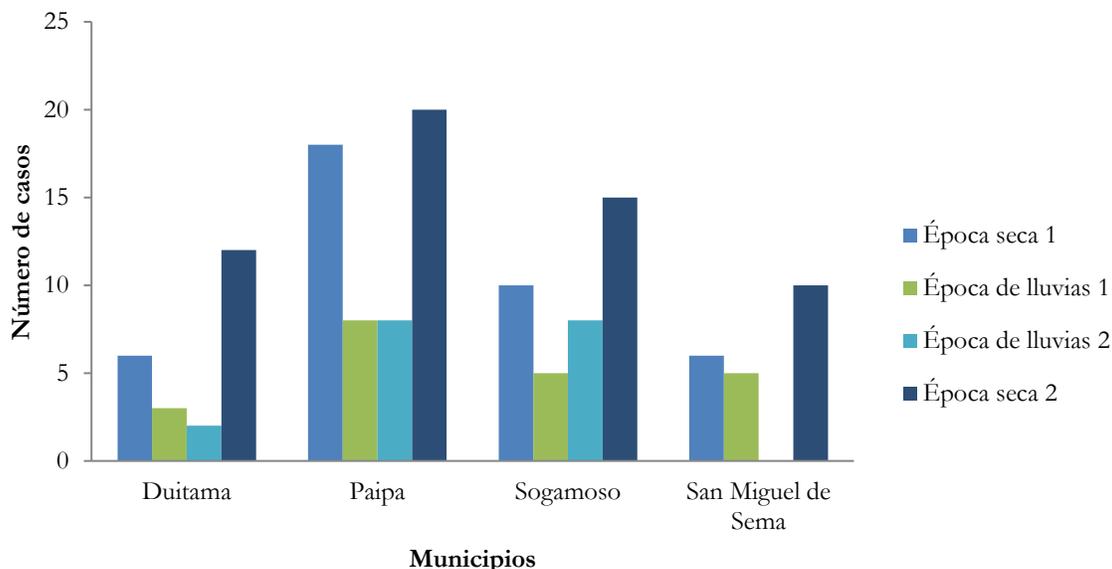


Figura 1. Número de muestras positivas para AFM1, detectadas para cada municipio en cada una de las temporadas evaluadas.

Fuente: Elaboración propia

Discusión

En Colombia, las investigaciones con respecto a la presencia de la AFM1 en leche cruda, que posteriormente será destinada para consumo humano, son escasas. Al evaluar leche fresca en cinco municipios del departamento del Valle del Cauca mediante la técnica ELISA, Cómbita y Mildenberg (2009) determinaron que en el 20 % de las muestras analizadas mostraron valores de 0,5-0,72 $\mu\text{L/L}$, es decir, por encima del valor de referencia de la normativa nacional (0,5 $\mu\text{g/kg}$). Sin embargo, esta investigación no permite un análisis consecutivo de la presencia de AFM1 en muestras de leche del departamento, lo que permitiría analizar posibles factores desencadenantes para la presencia de esta toxina en la leche; sumado a esto, no precisan el momento de la toma de muestras, con el fin de hacer una comparación con respecto a la temporada climática. Por lo tanto, solo se puede aseverar que sus resultados son menores a los reportados en este estudio para cualquiera de los trimestres evaluados.

Las condiciones tropicales de Colombia imprimen una visión diferente para el análisis de los resultados aquí expuestos, en comparación con países que cuentan con las cuatro estaciones; sin embargo, un punto en común con estos países lo constituye el uso de alimentos fermentados a base de granos como el maíz, la soya y la avena, principalmente en temporadas donde las pasturas están disminuidas o con producción nula. En el caso de países de otras latitudes, estas temporadas tienden a ser el invierno y el otoño; en estas épocas, los campos se congelan y luego

sufren un proceso de calentamiento paulatino que demora el brote de pasturas aptas para el consumo animal.

Por lo tanto, debido a la necesidad del uso de estos alimentos en estas circunstancias, si estos no son preparados o almacenados adecuadamente, podrían permitir el crecimiento de hongos productores de micotoxinas, que son consumidas posteriormente por los animales, y llegar hasta productos de consumo humano como la leche. Por ello, resulta necesario aclarar que todos los autores que se listan a continuación consideran que parte de la variación en sus resultados con respecto a la concentración de AFM1 en leche cruda puede provenir de alimentos contaminados con aflatoxinas.

Con relación a esto, Hernández et al. (2021) determinaron que hasta el 99 % de las muestras de raciones totalmente mezcladas suministradas a vacas lactantes fueron naturalmente contaminadas con aflatoxinas con una concentración promedio de $8,1 \pm 5,2 \mu\text{g}/\text{kg}$, exponiendo a los animales a bajas concentraciones de manera crónica, lo que afectó los procesos de coagulación y hepáticos; además, encontraron que existe una transferencia y excreción de AFM1 en leche en un patrón de dosis-respuesta con la concentración de AF en la alimentación. Lastimosamente, en este estudio en particular no se pudo hacer una relación con respecto a las condiciones meteorológicas de cada temporada, la calidad de los alimentos suministrados y, por lo tanto, los resultados de AFM1 obtenidos.

En relación con lo anterior, un estudio longitudinal a lo largo de dos años, realizado por Tomasevic et al. (2015) en Serbia, reportó que existen variaciones, dependiendo de la temporada, en la concentración de AFM1 en un total de 678 muestras; en su estudio, los autores encontraron que las mayores concentraciones ($0,358 \text{ mg}/\text{kg}$) se hallaban en los meses de invierno, así como el mayor número de casos, seguido por la primavera ($0,375 \text{ mg}/\text{kg}$). Este comportamiento se asoció a cambios en la alimentación de los animales, sobre todo de la calidad, debido al almacenamiento de las materias primas utilizadas para la fabricación de los alimentos fermentados.

En Marruecos, El Marnissi et al. (2012) determinaron también que la mayor ocurrencia y las mayores concentraciones se presentaron en los meses de invierno, cuando las pasturas se ven azotadas debido al clima. Estos resultados están en concordancia con lo reportado por Ismaiel et al. (2020), quienes determinaron variaciones en la concentración de AFM1 en muestras de leche cruda en Egipto a lo largo de los dos años de estudio (2016 y 2017), con lo que determinaron las mayores concentraciones de la toxina en otoño; además, en el 2016 establecieron un porcentaje de positividad total de muestras del 21,6 %, mientras que para el 2017 este porcentaje fue de 18,3 %, resultados que son similares, pero inferiores, a lo reportado en este estudio.

Estudios en Irán realizados por Hajmohammadi et al. (2020) y Nemati et al. (2010) muestran la presencia de la AFM1 hasta en el 100 % de las muestras evaluadas, resultados que son superiores a lo determinado en este estudio, en donde el porcentaje total de muestras contaminadas fue de 35,15 %. El límite máximo fijado en la norma Iraní para la AFM1 es de $50 \text{ ng}/\text{L}$; en el primer estudio, el 40 % del total de las muestras lo superó, mientras que en el segundo, el 33 % superó estos valores. Por otro lado, en el presente estudio el 100 % de los casos positivos superaron la normativa colombiana. La concentración máxima de la toxina en el estudio de Hajmohammadi et al. (2020) fue de $0,24 \mu\text{g}/\text{kg}$ (240 ng), mientras que para Nemati et al. (2010) la concentración

máxima fue de 85 ng/L, valores que son mucho menores comparados con el valor máximo detectado en este estudio, que fue de 2,4 µg/kg.

Otros estudios en el mismo país muestran una concentración de esta toxina en valores que oscilan entre 10-410 ng/L (0,01- 0,41 µg/kg) (Ghiasian et al., 2007) y 12-198 ng/mL (0,012-0,1941 µg/kg) (Fallah, 2010). En países como Serbia, se detectó una concentración de 300 ng/L (0,3 µg/kg) (Skrbic et al., 2014). Todos estos valores son bajos en comparación con lo reportado en este estudio para cualquier temporada. Además, en un estudio en Pakistán, realizado por Yunus et al. (2019), se determinó una concentración de AFM1 de 939 ng/L (0,9 µg/kg), valor similar a lo reportado en este estudio para todos los trimestres evaluados.

En Pakistán, el 76,3 % de las muestras evaluadas en 36 distritos diferentes productores de leche fueron positivas para AFM1 (Sadia et al., 2012), valor que es superior a lo reportado en este estudio por casi un 40 %. En su estudio para leche cruda de tanques de enfriamiento, Daou et al. (2020) determinaron una concentración de AFM1 que osciló entre 0,011-0,440 µg/kg en el 58,8 % de las muestras tomadas (701 muestras), valores que son menores a los reportados en este estudio con respecto a la concentración, pero con una prevalencia mayor en los resultados.

En relación con países latinoamericanos, en donde el comportamiento climático es similar, un estudio efectuado por Picinin et al. (2013) en Brasil evidenció que, en el periodo seco, el comportamiento de la AFM1 fue similar a lo reportado en este estudio, debido a que se determinó la mayor concentración de la aflatoxina, detectando un valor de 0,0359 µg/kg, mientras que los menores valores se determinaron para la temporada de lluvias, con un valor de 0,0055 µg/kg. Esto corrobora los hallazgos de este estudio, en donde la temporada climática es un factor que influye de forma importante en la concentración de la aflatoxina

Por otro lado, en Costa Rica se determinó una concentración de AFM1 en muestras de tanques de leche de 136 ng/L (Chavarría et al., 2015), valor inferior a lo reportado en este estudio; sin embargo, no se pudo determinar si el comportamiento variaba con respecto a la temporada climática, tal como sucedió en el caso colombiano planteado en esta investigación.

El rango de transferencia de AFM1 a la leche depende también de sus características particulares; es decir, se ha demostrado que existe una mayor concentración de la micotoxina dependiendo de la concentración de sólidos no grasos de la leche, debido a que esta toxina tiene una capacidad de unión con el componente proteico de esta, esto es, a mayor concentración de proteínas en la leche, mayor concentración de la toxina. Con base en esta información, se determina que procesos como la agrotransformación de la leche en quesos puede eliminar un porcentaje de la toxina, debido a esa eliminación de proteínas a través del suero; sin embargo, esto no es suficiente para eliminarla completamente (Granados, 2016; Hajmohammadi et al., 2020).

Por último, un estudio efectuado por Dos Santos et al. (2015) estableció que el 100 % de las muestras evaluadas de leche pasteurizada y ultrapasteurizada fueron positivas para AFM1 en un rango de 0,01-0,81 µg/kg. Daou et al. (2020), por su parte, determinaron una positividad en el 90,9 % de las muestras evaluadas, estudio que utilizó una metodología similar al estudio de Dos Santos et al. (2015).

Por último, y aun cuando no se determinó en este estudio la relación causal directa entre la temporada climática y el posible daño a los alimentos suministrados a los animales, se recomienda a los productores y profesionales prestar especial atención a las condiciones de

humedad, temperatura, integridad de los empaques y control de plagas durante los procesos de almacenamiento de alimentos fermentados destinados para el consumo animal, debido a la posibilidad de contaminación de la leche con aflatoxinas.

Conclusiones

Se determinaron las concentraciones de AFM₁ en muestras de leche cruda de tanques de enfriamiento en el departamento de Boyacá, Colombia, con lo que se determinaron las mayores concentraciones y el mayor número de casos para los trimestres de épocas secas. Asociadas con la literatura sobre alimentación de los animales con comida fermentada contaminada con mohos productores de micotoxinas, todas las muestras de leche positivas superaron los valores máximos postulados por la normativa nacional. Este trabajo permite una de las primeras evidencias de la presencia de la AFM₁ en el territorio boyacense, mediante la apertura de un nuevo tópico de estudio en este tema en aras de velar por la inocuidad de un producto de consumo básico como lo es la leche.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Battacone, G., Nudda, A., Rassa, S., Decandia, M., & Pulina, G. (2012). Excretion pattern of aflatoxin M₁ in milk of goats fed a single dose of aflatoxin B₁. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2656-2661. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-5003>
- Chavarría, G., Granados-Chinchilla, F., Alfaro-Cascante, M., & Molina, A. (2015). Detection of aflatoxin M₁ in milk, cheese and sour cream samples from Costa Rica using enzyme-assisted extraction and HPLC. *Food Additives and Contaminants: Part B*, 8(2), 128-135. <https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1015176>
- Cómbita, A., & Mildenberg, S. (2009). *Detección de aflatoxina M₁ en leches frescas comercializadas en la zona del Valle del Cauca (Colombia) mediante la técnica de elisa* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia]. Repositorio Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8204>
- Daou, R., Afif, C., Joubrane, K., Rabba, L., Maroun, R., Ismail, A., & El Khoury, A. (2020). Occurrence of aflatoxin M₁ in raw, pasteurized, UHT cows' milk, and dairy products in Lebanon. *Food Control*, 111, 107055. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107055>

- De Roma, A., Rossini, C., Ritieni, A., Gallo, P., & Esposito, M. (2017). A survey on the Aflatoxin M₁ occurrence and seasonal variation in buffalo and cow milk from Southern Italy. *Food Control*, 81, 30-33. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.05.034>
- Dos Santos, J., França, V., Katto, S., & Santana, E. (2015). Aflatoxin M₁ in pasteurized, UHT milk and milk powder commercialized in Londrina, Brazil and estimation of exposure. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 65(3), 181-185. <http://ve.scielo.org/pdf/alan/v65n3/art07.pdf>
- El Marnissi, B., Belkhou, R., Morgavi, D., Bennani, L., & Boudra, H. (2012). Occurrence of aflatoxin M₁ in raw milk collected from traditional dairies in Morocco. *Food and Chemical Toxicology*, 50(8), 2819-2821. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.05.031>
- Fallah, A. (2010). Assessment of aflatoxin M₁ contamination in pasteurized and UHT milk marketed in central part of Iran. *Food and Chemical Toxicology*, 48(3), 988-991. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2010.01.014>
- Fernandes, A., Correa, B., Rosim, R., Kobashigawa, E., & Oliveira, C. (2012). Distribution and stability of aflatoxin M₁ during processing and storage of Minas Frescal cheese. *Food Control*, 24(1-2), 104-108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.09.010>
- Ghiasian, S., Maghsood, A., Neyestani, T., & Mirhendi, S. (2007). Occurrence of aflatoxin M₁ in raw milk during the summer and winter seasons in Hamedan, Iran. *Journal of Food Safety*, 27(2), 188-198. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2007.00071.x>
- Giovati, L., Magliani, W., Ciociola, T., Santiolini, C., Conti, S., & Polonelli, L. (2015). AFM₁ in milk: Physical, biological, and prophylactic methods to mitigate contamination. *Toxins*, 7(10), 4330-4339. <https://doi.org/10.3390/toxins7104330>
- Gonçalves, B., Gonçalves, J., Rosim, R., Cappato, L., Cruz, A., & Oliveira, C. (2017). Effects of different sources of *Saccharomyces cerevisiae* biomass on milk production, composition, and aflatoxin M₁ excretion in milk from dairy cows fed aflatoxin B₁. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5701-5708. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12215>
- Granados, F. (2016). Insights into the interaction of milk and dairy products with aflatoxin M₁. En I. Gigli (Ed.), *Milk Proteins - Structure to Biological Properties and Health Aspects* (pp. 265-286). IntechOpen Elsevier Applied Science. <https://doi.org/10.5772/63433>
- Hajmohammadi, M., Valizadeh, R., Naserian, A., Nourozi, M., Rocha, R., & Oliveira, C. (2020). Composition and occurrence of aflatoxin M₁ in cow's milk samples from Razavi Khorasan Province, Iran. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 40-45. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12661>
- Hernández-Valvidia, E., Valvidia-Flores, A., Cruz-Vazquez, C., Martínez-Saldaña, M., Quezada-Tristan, T., Rangel-Muñoz, E., Ortiz-Martinez, R., Medina-Esparza, L., & Jaramillo-Juarez, F. (2021). Diagnosis of Subclinical Aflatoxicosis by Biochemical Changes in Dairy Cows under Field Conditions. *Pakistan Veterinary Journal*, 41(1), 33-38. <http://dx.doi.org/10.29261/pakvetj/2020.075>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020) *Boletín meteorológico 2019*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/tiempo-clima>
- Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 23(2): e2058
- DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2058

- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2002). Traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene. *IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans*, 82(1), 1-556. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12687954/>
- Iha, M., Barbosa, C., Okada, I., & Truckess, M. (2013). Aflatoxin M₁ in milk and distribution and stability of aflatoxin M₁ during production and storage of yoghurt and cheese. *Food control*, 29(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.058>
- Iqbal, S., Jinap, S., Pirouz, A., & Ahmad, A. (2015). Aflatoxin M₁ in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 46(1), 110-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.08.005>
- Ismaiel, A., Tharwat, N., Sayed, M., & Gameh S. (2020). Two-year survey on the seasonal incidence of aflatoxin M₁ in traditional dairy products in Egypt. *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2182-2189. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04254-3>
- Ministerio de Salud y Protección Social (Misalud). (2013). *Resolución 4506: Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4506-de-2013.pdf>
- Nemati, M., Abbasi, M., Khankandi, P., & Masoud A. (2010). A survey on the occurrence of aflatoxin M₁ in milk samples in Ardabil, Iran. *Food Control*, 21(7), 1022-1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.12.021>
- Oliveira, F., C. Corassin., B. Correa., I. Oswald, 2014. Animal health: mycotoxins. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 2nd edn, ed Van Alfen N. Oxford UK: Elsevier Limited, pp 358-377.
- Picinin, L., Oliveira, M., Azevedo, E., Quintão, Â., Toaldo, I., & Bordignon M. (2013). Influence of climate conditions on aflatoxin M₁ contamination in raw milk from Minas Gerais State, Brazil. *Food Control*, 31(2), 419-424. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.10.024>
- Sadia, A., Abdul, M., Deng, Y., Akbar, E., Riffat, S., Naveed, S., & Arif, M. (2012). A survey of aflatoxin M₁ in milk and sweets of Punjab, Pakistan. *Food Control*, 26(2), 235-240. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.01.055>
- Sarma, U., Bhetaria, P., Devi, P., & Varma, A. (2017). Aflatoxins: Implications on health. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 32(2), 124-133. <https://doi.org/10.1007/s12291-017-0649-2>
- Skrbic, B., Zivancev, J., Antic, I., & Godula, M. (2014). Levels of aflatoxin M₁ in different types of milk collected in Serbia: Assessment of human and animal exposure. *Food Control*, 40, 113-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.039>
- Tarazona, L., Villate, J., Forero, E., Grijalba, J., Vargas, J., & Andrade, R. (2019). Presencia de microorganismos micóticos en leche cruda de tanques de enfriamiento en el Altiplano Boyacense (Colombia). *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(2), 8-17. <http://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.14.2.1>

- Temamogullari, F., & Kanici, A. (2014). Short communication: Aflatoxin M₁ in dairy products sold in Sanliurfa, Turkey. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 162-165. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6184>
- Tomasevic, I., Petrovic, J., Jovetic, M., Raicevic, S., Milojevic, M., & Miocinovic, J. (2015). Two year survey on the occurrence and seasonal variation of aflatoxin M₁ in milk and milk products in Serbia. *Food Control*, 56, 64-70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.017>
- Villar, D., Olivera, M., Didier, J., & Chaparro, J. (2012). *Aproximación al tema de residuos antimicrobianos y antiparasitarios en leche*. Universidad de Antioquia y Biogénesis. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/issue/view/2516>
- Xiong, J., Wang, Y., Ma, M., & Liu, J. (2013). Seasonal variation of aflatoxin M₁ in raw milk from the Yangtze River Delta region of China. *Food Control*, 34(2), 703-706. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.024>
- Yunus, A., Imtiaz, N., Khan, H., Nawaz, M., & Zafar, Y. (2019). Aflatoxin contamination of milk marketed in Pakistan: A longitudinal Study, *Toxins*, 11(2), 110. <http://dx.doi.org/10.3390/toxins11020110>
- Zinedine, A., González, J., Soriano, J., Moltó, L., Idrissi, L., & Mañes J. (2007). Presence of aflatoxin M₁ in pasteurized milk from Morocco. *International Journal of Food Microbiology*, 114(1), 25-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.11.001>