

Revisión sobre las aflatoxinas en Avicultura.

Ramón Eduardo Prado Rodríguez



Universidad De Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A

Bogotá.

2018.

Revisión sobre las aflatoxinas en Avicultura.

Ramón Eduardo Prado Rodríguez

Director.

Álvaro Hugo Jaramillo Benavides Zoo. Esp. Msc

Tesis presentada como requisito para optar al título de:

Médico Veterinario y Zootecnista.

Universidad De Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A

Bogotá.

2018.

Dedicatoria.

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto en el cual estoy a portas de cumplir uno de los objetivos más importantes en mi vida. A mi madre, por su amor y entrega incondicional que sirvieron para forjar mi carácter y darme la fuerza necesaria para reponerme a las diferentes adversidades que encontré en este duro camino. A mi padre por enseñarme a través de su experiencia que esta profesión es de entrega, esfuerzo, dedicación y ética para lograr la satisfacción del deber cumplido al final del día.

A mis hermanas, porque siempre sentí su apoyo y fueron ejemplo de lo que quería ser en el futuro. A mis sobrinos que fueron la inspiración primordial desde el día en que nacieron para que fuera mejor persona y un ejemplo para ellos. A Viviana mi novia, por ser un apoyo incondicional y el pilar que le faltaba a mi vida para sentirme completo y feliz. A mis amigos y demás familiares que junto a la música han sido fundamentales en mi desarrollo personal ya que me han acompañado y me han ayudado a superar inconvenientes que diariamente se presentan.

A mis profesores y a mi Universidad que terminaron de formar un profesional íntegro y con ganas de ser un ejemplo para la sociedad.

Agradecimientos.

A la Dra. Teresa Carvajal, decana de la facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Ciencias Pecuarias y Ambientales

Al Dr. Leonardo Roa, director de la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Ciencias Pecuarias y Ambientales

A la Dra. Rocío Helena García, docente de la facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Ciencias Pecuarias y Ambientales

En especial a mis padres, hermanas, sobrinos y novia de los cuales recibí su apoyo en todo momento y finalmente a mis amigos y colegas que me brindaron su conocimiento y experiencia para mi desarrollo como profesional.

Resumen.

La industria avícola es un renglón que influye fuertemente en la economía colombiana, muestra de esto es que en el 2016 logro un crecimiento del 4.5% a pesar de los altos costos en los sistemas productivos.

Uno de los problemas que enfrenta la industria es la presencia de micotoxinas que al tener condiciones óptimas de Ph, humedad y temperatura generan intoxicaciones que afectan tanto al sistema productivo como a la salud pública por sus efectos mutagénicos y teratogénicos

En Colombia y en el resto de países en vía de desarrollo, como lo indica Morris (2011):

la falta de políticas sanitarias, pocos recursos para investigaciones, falta de estandarización de técnicas para análisis de laboratorio y de protocolos de muestreo, la sensibilidad de los métodos de cuantificación utilizados y el escaso número de profesionales con perfil de profundización en la materia influyen en esto. (p. 4).

Dependiendo del momento en el que se quiera intentar controlar la presencia de toxinas en las materias primas, se utilizan diferentes métodos para dicho fin. La desintoxicación biológica es el más utilizado, ya que no solo es la forma más efectiva sino que también permite preservar las características nutricionales del alimento.

Palabras clave.

Micotoxinas, micotoxicosis, aflatoxinas, industria avícola, control.

Abstract.

The poultry is a line that strongly influences the Colombian economy, a sign of this is that in 2016 achieved a growth of 4.5% despite the high costs in production systems.

One of the problems facing the industry is the presence of mycotoxins that have optimal pH, humidity and temperature conditions that generate intoxications that affect both the productive system and public health due to their mutagenic and teratogenic effects. In Colombia and in the rest of the developing countries, as indicated by Morris (2011):

the lack of sanitary policies, few resources for research, lack of standardization of techniques for laboratory analysis and sampling protocols, the sensitivity of the quantification methods used and the limited number of professionals with a deepening profile in the matter influence this .

Depending on the time when you want to try to control the presence of toxins in raw materials, different methods are used for that purpose. Biological detoxification is the most used, since not only is the most effective way but also allows preserving the nutritional characteristics of the food.

Keywords

Micotoxins, micotoxicoses, aflatoxin, poultry, control.

Tabla de Contenido.

Capítulo I. Introducción.....	1
Capítulo II. Objetivos.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Capítulo III. Metodología.....	6
Capítulo IV. Revisión de la Literatura.	7
Generalidades.....	7
Aflatoxinas.....	8
Síntomas.....	12
Diagnóstico.....	17
Cromatografía en Capa Delgada (TLC).	18
Cromatografía líquida de alta presión (HPLC).....	19
Emisión de Fluorescencia.....	20
Enzimoimmunoanálisis (ELISA).	21
Capítulo V. Prevención y Control.	23
Métodos de Descontaminación	26
Físicos.....	26

Químicos.....	27
Biológicos.....	30
Capítulo VI. Legislación.....	47
Capítulo VII. Conclusiones y Recomendaciones.....	49
Referencias Bibliográficas.....	51

Índice de Cuadros.

Cuadro 1. Micotoxinas, hongos y condiciones de favorabilidad..... 2

Índice de Gráficas.

Gráfica 1. Dieta con aflatoxinas en machos adultos..... 16
Gráfica 2. Porcentaje de degradación de aflatoxinas..... 29

Índice de Figuras.

<i>Figura 1.</i> Factores de crecimiento y producción de micotoxinas.....	8
<i>Figura 2.</i> Estructura de la Aflatoxina B1 y B2.....	9
<i>Figura 3.</i> Estructura de la Aflatoxina G1 y G2.	10
<i>Figura 4.</i> Hígado afectado por vesículas.....	13
<i>Figura 5.</i> Riñones hiperplásticos.....	14
<i>Figura 6.</i> Placa de cromatografía indicando presencia de aflatoxinas.....	19
<i>Figura 7.</i> Prueba de detección de micotoxinas.....	20
<i>Figura 8.</i> Kit ELISA.....	22

Índice de Tablas.

<i>Tabla 1.</i> DL50 de AFB1 en diferentes especies.	11
<i>Tabla 2.</i> Niveles de aflatoxinas en pienso.	30
<i>Tabla 3.</i> Índice de relación peso ave/Bursa.	32
<i>Tabla 4.</i> Comparativo.	35
<i>Tabla 5.</i> Evaluación de consumo de alimento contaminado.....	39
<i>Tabla 6.</i> Evaluación de ganancia de peso.	40
<i>Tabla 7.</i> Medidas generales de parámetros productivos.	42
<i>Tabla 8.</i> Porcentaje medio de adsorción de aflatoxinas 1.....	43
<i>Tabla 9.</i> Porcentaje medio de adsorción de aflatoxinas 2.....	44
<i>Tabla 10.</i> Productos comerciales disponibles.	45

Capítulo I.

Introducción.

Desde la segunda mitad del siglo XX la industria avícola creció en gran manera, debido al esfuerzo de los productores que por medio de la experiencia, el aprendizaje continuo, la formación de agrupaciones gremiales y el uso de tecnología, lograron ser más productivos y eficientes (RodríguezUribe, 2016). Muestra de esto es el informe que rindió la Federación Nacional de Avicultores de Colombia FENAVI (2017), indicando que la producción de pollo en canal pasó de 762.870 a 1.424.387 Toneladas entre 2005 y 2015; mientras que la industria del huevo comercial de producir 8.200 pasó a 12.000 millones de unidades en el mismo periodo de tiempo.

En la cumbre sobre el medio ambiente y desarrollo que se celebró en Río se concluyó que la alimentación representa el costo más alto en la producción de aves de corral; por ende su composición nutricional y condición sanitaria son de vital importancia. Las micotoxinas son metabolitos secundarios de los hongos toxigénicos, que crecen en los piensos al encontrar óptimas condiciones de pH, humedad y temperatura, generando diferentes tipos de intoxicaciones (micotoxicosis) en animales y seres humanos (Maygua, 2012). Estos metabolitos no son esenciales para el crecimiento del hongo pero según Borrel & Gimeno (2002) inhiben el crecimiento de posibles competidores asegurando la supervivencia de este. Los resultados zootécnicos y la disminución en la capacidad de respuesta inmune del ave frente a diversos agentes infecciosos son parámetros usados para medir el impacto económico que tienen las micotoxinas sobre el sistema productivo (Ochoa, Hernández, Chico, Uribe & Sierra, 2014).

La historia de las micotoxinas y su efecto en las aves, se remonta al año 1960 tras la muerte de 100,000 pavos jóvenes que consumieron harina de cacahuete contaminada con Aflatoxina, en ese entonces denominada “enfermedad X de los pavos” (Carne, Mascarrell & Zaragoza, 2013; Fountain et al., 2014). En los animales, existen toda una serie de factores que pueden influenciar la toxicidad de las micotoxinas (aumentándola o disminuyéndola), según Gimeno (2014) pueden ser: la especie, raza de los animales, concentración de micotoxina y duración de la contaminación (tiempo que los animales están ingiriendo alimento contaminado), estado nutricional y de salud de los animales, edad, sexo, problemas de bienestar animal, tratamientos farmacológicos, presencia de otras micotoxinas y sinergismos o asociaciones entre ellas. Las micotoxinas con mayor impacto en la producción avícola, así como los hongos que las producen y las condiciones que favorecen la formación de estos compuestos se presentan a continuación:

Cuadro 1. Micotoxinas, hongos y condiciones de favorabilidad.

<i>Micotoxina</i>	<i>Hongos que más producen</i>	<i>Factor desencadenante de la contaminación</i>
<i>Aflatoxina</i>	<i>Aspergillus flavus A. parasiticus</i>	Almacenamiento en condiciones inadecuadas
<i>Ácido Ciclopiazónico</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	Almacenamiento en condiciones inadecuadas
<i>Tricotecenos</i>	<i>Fusarium sp</i>	temperatura baja, alta humedad y problemas de almacenamiento
<i>Fumonisinás</i>	<i>Fusarium sp</i>	Estación seca seguida de alta humedad y temperaturas moderadas
<i>Ocratoxina A</i>	<i>Aspergillus ochraceus y Penicilium sp</i>	Deficiencias en el almacenamiento

Fuente: Mallman et al. (2007).

Los estudios de investigación sobre la contaminación de alimentos por Micotoxinas en Colombia, comenzaron desde la década de los setenta en alimentos para consumo humano y animal (Acuña, Díaz & Espitia, 2005). Clavijo et al. (2015) en Documentos de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos del Ministerio de Salud y Protección Social reportan que la incidencia de las aflatoxinas en Colombia oscila entre el 9 y el 30% con niveles promedios cercanos a 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y niveles máximos alrededor de 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en muestras aisladas. Los niveles máximos de aflatoxinas totales permisibles en Colombia para alimentos humanos y animales oscilan entre 10 y 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dependiendo del sustrato específico.

Existen diferentes estrategias con el fin de prevenir la contaminación con micotoxinas, según Borrel & Gimeno (2013) estas son: una cuidadosa selección de los ingredientes que se compran, un apropiado almacenaje de granos y cereales incluyendo limpieza de los sitios destinados para esto y sus equipos y el uso de descontaminantes. Sin embargo, de todas las formas de control utilizadas para reducir los efectos en los alimentos contaminados, la más práctica y de menor costo es la adición de secuestrantes (Jaimes-Olaya, et al., 2010; Gimeno, 2014).

Anualmente en el mundo, las micotoxinas producen pérdidas de millones de dólares en el sector avícola, siendo las aflatoxinas las de mayor impacto y las que directamente influyen en la pérdida de las cosechas, pérdidas por mortalidad de las aves infectadas, supresión del sistema inmune y/o aumento de la conversión alimenticia e indirectamente en el costo de los programas diseñados para reducir riesgos a la salud animal y humana (Cornejo & Villarroel, 2012). El aumento de la frecuencia de los desafíos por parte de las aflatoxinas tanto en las aves como en otros sistemas de producción en el mundo entero es influenciado directamente por las condiciones climáticas extremas. A esto se refiere Smith (2016) al decir que “El exceso de

lluvias e inundaciones durante la época de cultivo y durante la cosecha o la sequía puede dar lugar a una contaminación”.

En Colombia, la información relacionada con los niveles de contaminación por micotoxinas en los alimentos es escasa. Morris (2011) indica que los estudios se ven limitados por factores como: la falta de políticas sanitarias claras en relación a contaminantes naturales de los alimentos, pocos recursos disponibles para investigaciones, reducido número de laboratorios tecnológicamente equipados y sus costos, falta de estandarización de técnicas para análisis de laboratorio y de protocolos de muestreo, la sensibilidad de los métodos de cuantificación utilizados y el escaso número de profesionales con perfil de profundización en la materia.

Por lo tanto, se sugiere la revisión del presente trabajo de grado como material de consulta principalmente para los productores, profesionales, investigadores y cualquier persona que trabaje en la producción de alimentos.

Capítulo II.

Objetivos.

Objetivo General.

- Describir las principales características, sintomatología y efectos de las aflatoxicosis en aves comerciales.

Objetivos Específicos.

- Describir los diferentes tipos de aflatoxinas que afectan a las aves de corral.
- Describir los efectos de las aflatoxinas en las aves de corral.
- Identificar diferentes métodos de prevención y control de la aflatoxicosis en la industria avícola.

Capítulo III.

Metodología.

Se realizó una revisión bibliográfica para describir los efectos causados por aflatoxicosis en las aves de corral, sintomatología, métodos de prevención y control en las granjas ya que es de gran importancia para todas las personas vinculadas al sector directa e indirectamente. Se usaron como palabras clave en la búsqueda: micotoxicosis, avicultura, aflatoxinas y aflatoxicosis artículos en inglés, español y portugués desde el año 2000 hasta el 2017.

Para la consulta se revisaron las siguientes bases de datos y revistas electrónicas:

- Pubmed Poultry Science.
- Agrys.

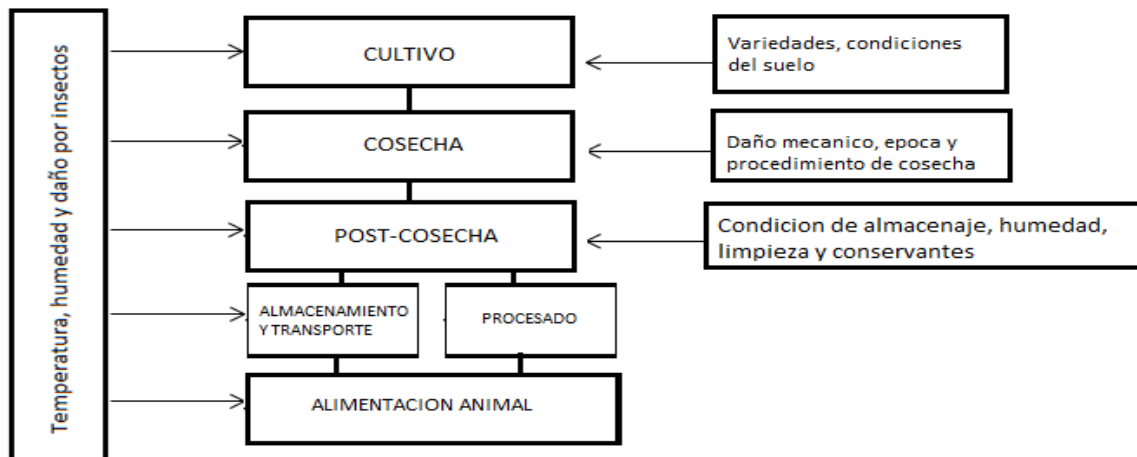
Capítulo IV.

Revisión de la Literatura.

Generalidades.

Los hongos toxigénicos, están ampliamente difundidos en el medio ambiente y son contaminantes frecuentes de los alimentos y materias primas en especial, los de origen vegetal. Las especies toxigénicas de mayor importancia pertenecen a tres géneros: *Aspergillus spa*, *Penicillium spp* y *Fusarium*. Las micotoxinas más importantes en las aves incluyen las aflatoxinas (AFs), ocratoxinas (Os), zearalenona (ZEA), citrinina, fumonisinas (Fs) y los tricotecenos toxina T-2 y vomitoxina (DON) (Bueno, Salvano, Silva, Gonzales & Oliver, 2001; Arevalo, 2014; Villareal, 2014).

La FAO estima que más de un 25% de la producción de alimentos en el mundo está contaminada en un cierto grado de micotoxinas ayudadas por ciertos factores que influyen en la incidencia y concentración de las micotoxinas (Denli & Pérez, 2006; Zain, 2011). Las micotoxinas no solo afectan la producción, sino también la salud pública por los efectos mutagénicos y carcinogénicos que poseen, dado que uno de los riesgos es que se acumulan en los tejidos y fluidos biológicos de los animales alimentados con piensos contaminados (Serrano-Coll & Cardona, 2015).



Fuente: Denli y Pérez (2006).

Figura 1. Factores de crecimiento y producción de micotoxinas.

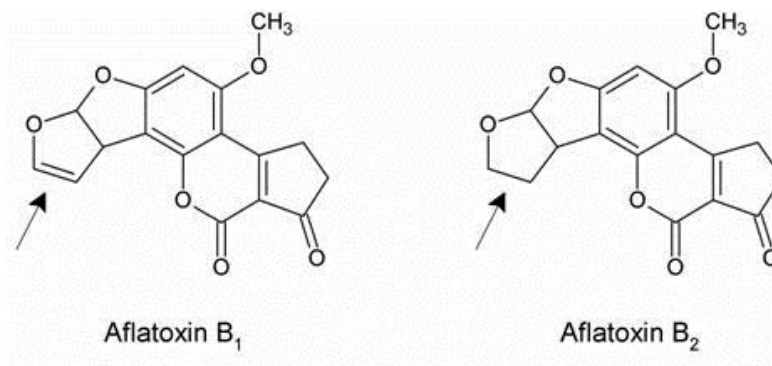
Aflatoxinas.

Las Aflatoxinas (AFs) son producidas por cepas toxigénicas de los hongos *Aspergillus flavus* (producen aflatoxina B1 y B2) y *Aspergillus parasiticus* (producen aflatoxina B1, B2, G1 y G2) (Alvarenga, Moura & Fernández, 2013). Inicialmente, el metabolismo primario forma poca o ninguna Aflatoxina, con el tiempo, el fosfato, el nitrógeno y algunos elementos traza son limitados y el crecimiento primario se reduce; allí el piruvato, malato, acetato y los aminoácidos (metabolitos primarios), provocan, estimulan e inducen la actividad de las enzimas del metabolismo secundario (Bogantes-Ledezma, Bogantes-Ledezma & Bogantes-Ledezma, 2004).

La mayoría de AFs son poco solubles en agua, pudiendo ser extraídas con solventes orgánicos moderadamente polares; cuando se encuentran en estado puro en forma cristalina son termorresistentes, sus puntos de fusión alcanzan temperaturas superiores a 250 °C y rangos de

pH entre 3 y 10 (Abbas, et al., 2009; Torres, Aparicio & García, 2014). Aunque los niveles y frecuencias máximas se presentan en las regiones tropicales y semitropicales, en donde el clima favorece el crecimiento de los hongos productores de aflatoxinas, puede haber contaminación de los alimentos provenientes de zonas templadas, ya que el *Aspergillus flavus* está distribuido universalmente y alimentos contaminados han sido detectados en todo el mundo. Para que produzcan las aflatoxinas, se requieren las siguientes condiciones térmicas: 12° C temperatura mínima, 27-30° C la óptima, y 40-42° C la máxima. (Bogantes-Ledezma et al., 2004).

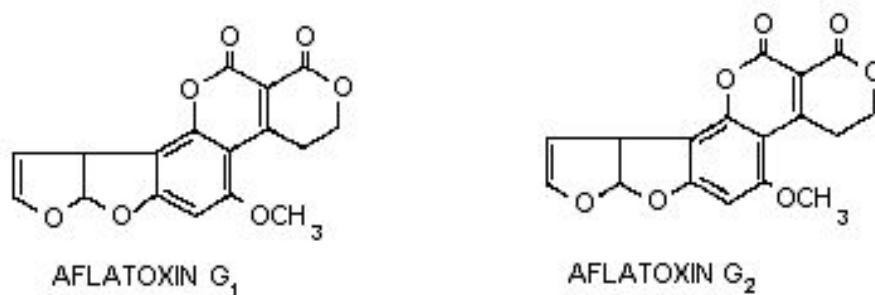
Las AFs son inoloras, insípidas e incoloras. Químicamente, son estables en los alimentos y resistentes a la degradación bajo procedimientos de cocción normales siendo difícil eliminarlas una vez que se producen (Soriano, 2007). Las AFs son metabolitos secundarios no protéicos, de bajo peso molecular cuyo esqueleto básico es un anillo de furano unido al núcleo de cumarina (Mallmann, Hymmes & Giacomani, 2006).



Fuente: Combata y Mildener, (2009).

Figura 2. Estructura de la Aflatoxina B1 y B2.

Existen aproximadamente, 18 tipos de aflatoxinas de las cuales la más tóxica es la aflatoxina B1 (AFB1) y la aflatoxina M1 (AFM1) (siendo ésta un derivado metabólico de la aflatoxina B1). Siguen después en orden de mayor a menor toxicidad, las aflatoxinas G1 (AFG1), M2 (AFM2), B2 (AFB2) y G2 (AFG2) (siendo la aflatoxina M2, un derivado metabólico de la aflatoxina B2) (Martínez, Vargas del Río & Gómez, 2013).



Fuente: Combita y Mildener, (2009).

Figura 3. Estructura de la Aflatoxina G1 y G2.

De estos metabolitos se describe con mayor frecuencia la aflatoxina B1 como un compuesto altamente tóxico para la mayoría de las especies animales además que pertenece al conjunto de micotoxinas de importancia en salud pública, ya que es considerada por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como evidente cancerígena en animales de experimentación y también en humanos (grupo I). Las AFs producen a corto plazo efectos hepatotóxicos e hiperplasia en los conductos biliares así como, lesiones renales, mientras que a largo plazo poseen capacidad inmunodepresora (Martínez et al., 2013; Arrieta et al., 2006).

Reyna-Santamaría, L., Basilio-Navarrete, A., Martínez-Rojero, R. D. & Casaubon-Huguenin, M. T. (2016) manifiestan:

Uno de los órganos diana por excelencia de las aflatoxinas es el hígado, en donde se presentan lesiones muy serias, caracterizadas por infiltración de grasa, degeneración vacuolar y proliferación de los canalículos biliares. Lo anterior provoca cambios en el metabolismo hepático, disminución de la síntesis de proteínas debido a la afinidad de la toxina a regiones específicas del ADN del núcleo del hepatocito, bloqueando así el proceso de transcripción requerido para la síntesis proteica. (p. 215)

Existen dos tipos de contaminación, una directa en el momento de la producción, transporte o procesamiento del alimento (incluyendo materias primas) o una indirecta debida a la presencia de un ingrediente previamente contaminado con un moho toxigénico que ya ha desaparecido pero cuya micotoxina aún persiste (Castro, Alvarado, Koga & Tinoco, 2015). Las aves no son la única especie que sufren efectos por intoxicación con aflatoxinas, Murcia (2010) determinó la DL50 de AFB1 en diferentes especies.

Tabla 1. DL50 de AFB1 en diferentes especies.

<i>Especie</i>	<i>DL50 (mg/kg)</i>
Conejo	0.3-0.5
Pato	0.34-0.56
Gato	0.55
Cerdo	0.62
Trucha arco iris	0.81
Perro	1.0
Cobayo	1.4-2.0
Oveja	2.0
Mico	2.2
Pollito	6.5-16.5

Ratón	9.0
Hámster	10.2
Rata	5.5-17.9

Fuente: Murcia (2010).

El mecanismo de acción de las Aflatoxinas comienza cuando son consumidas y posteriormente absorbidas en el tracto gastrointestinal, de allí pasan al torrente sanguíneo que las deposita en hígado, riñones, canales biliares y sistema nervioso (Alvarenga et al., 2013).

Las micotoxicosis producidas por aflatoxina B1 además de incidir en la salud de las aves reducen la producción, afectando la disponibilidad de ciertos productos y su comercialización. Así mismo, la carne de pollo puede contener residuos de aflatoxina especialmente en hígado lo que representa un riesgo de salud pública, porque aún las cantidades mínimas en la dieta humana pueden causar efectos irreversibles (Urrego & Días, 2006).

Síntomas.

En la aflatoxicosis se perciben tres formas clínicas: aguda, subaguda y crónica (Perusia, 2001):

- **Aguda:** puede sobrevenir la muerte sin signos clínicos después de una situación de estrés y se presenta como consecuencia del consumo de dosis altas de la aflatoxina, pero en aves no es muy común (Villar, Medina & García Gómez. 2014). **Subaguda:** estos animales presentan ictericia, hipoprotrombinemia, hematomas (principalmente

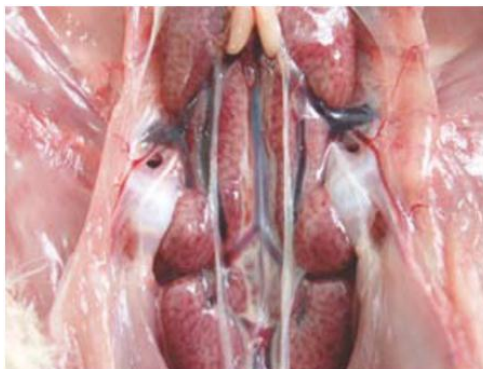
subserosos y subcutáneos), enteritis hemorrágicas con prolapso rectal y ascitis. Puede sobrevenir fotosensibilización secundaria (Villar et al., 2014).

- **Crónica:** esta forma posiblemente es la que más importancia tiene en la economía de los animales de granja por efectos como: hígado graso, ictericia, baja ganancia de peso, alto índice de conversión y otros síntomas inespecíficos (Díaz, 2000). En aves, los brotes de aflatoxicosis se manifiestan de diferentes formas, una de las características más destacadas es la mala absorción de alimento que se manifiesta por la presencia de partículas mal digeridas o de alimento balanceado en las excretas de las aves, fenómeno asociado con esteatorrea o aumento de la excreción de lípidos. También se encuentran hígados con múltiples hemorragias) y riñones hiperplásicos.



Fuente: Díaz (2010).

Figura 4. Hígado afectado por vesículas.



Fuente: Díaz (2010).

Figura 5. Riñones hiperplásicos.

Dentro de los problemas que pueden ocasionar las AFs en las aves de corral están:

- Ponedoras que consumen una dieta conteniendo 5 ppm de aflatoxinas durante 4 semanas, pueden presentar reducción en la producción de huevos a partir del octavo día, llegando a una reducción de la producción del orden del 35% una semana luego de la retirada de la micotoxina de la dieta (Rosa, Mallmann & Jakuosky, 2001).
- Daño tisular y supresión de proteínas en el hígado, lo cual merma la tasa de crecimiento y reduce la producción de huevos (Rosa et al., 2001).
- Inhibición la digestión de los lípidos y los pigmentos en las aves al reducir la producción de sales biliares (Kana, Gbenou, Gnonlonfin & Harvey, 2013).
- Otro efecto de la aflatoxicosis en las aves es la interferencia con el metabolismo de la vitamina D, comprometiendo la resistencia ósea. Además de esto se pueden debilitar los capilares sanguíneos lo que llevaría a problemas en canal por

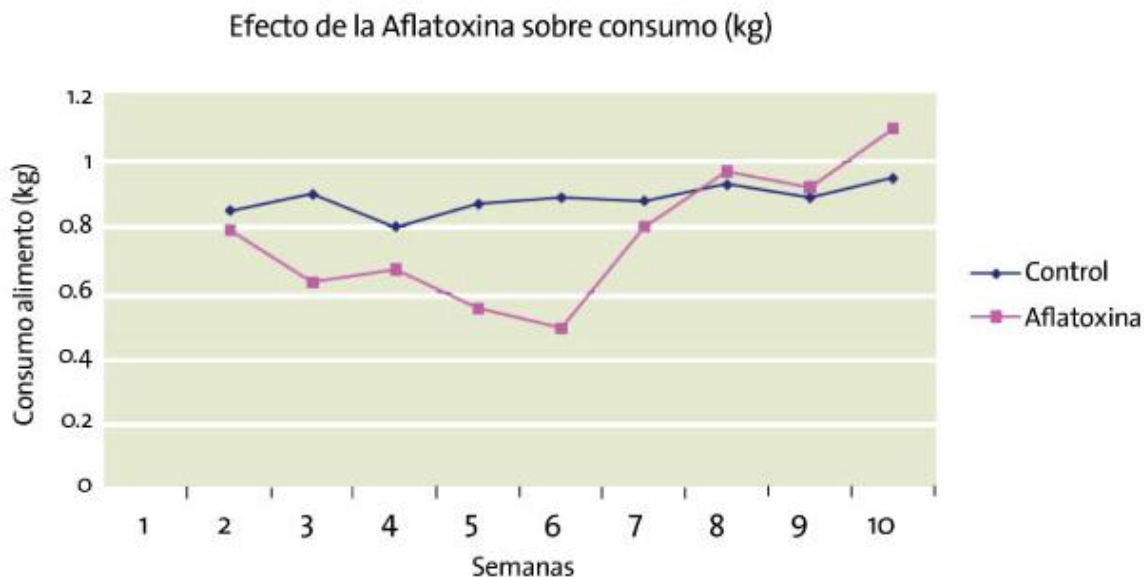
presencia de hematomas que desencadenarían pérdidas económicas por decomisos (Kana et al., 2013).

- Reducción del tamaño de los huevos, así como a la reducción proporcional en el tamaño de las yemas, debido a los daños causados en la síntesis proteica y lipídica. A pesar de ello, la deposición de calcio en la cáscara de los huevos en sí misma no se ve afectada (Mallmann et al., 2007).
- La resistencia de la cáscara aumenta cuando las aves consumen aflatoxinas ya que la reducción en la cáscara de esos huevos no tienen la misma proporción que la reducción que ocurre en la clara y en la yema. Este aumento del espesor de la cáscara puede afectar la eclosionabilidad debido a la reducción de los intercambios gaseosos entre el embrión y el ambiente (Mallmann et al., 2007).
- La mortalidad embrionaria ocurre en el tercio final de la incubación, pues los metabolitos de las aflatoxinas están concentrados en la yema, la que es utilizada por el embrión como fuente energética en este período del proceso de incubación (Mallmann et al., 2007).
- Inmunosupresión ya que inhiben la fagocitosis y la síntesis proteica interrumpiendo la síntesis de ADN, ARN y proteínas en el ribosoma (Gimeno & Martins, 2003). En una investigación realizada por Santin et al. (2002) con micotoxinas se observó una reducción en el número de células en mitosis en la Bursa de pollos, y paralelamente también una peor respuesta inmune humoral a la vacuna contra el virus de la enfermedad de Newcastle. Esto significa que en situación de campo la presencia de micotoxinas podría reducir la eficacia de la vacuna. Esos estudios también sugirieron que micotoxicosis en reproductoras

podrían causar una disminución de la inmunidad materna lo que a su vez generaría una reducción en el índice de viabilidad.

Pérez (2014) comprobó los efectos de las AFs sobre los órganos linfoides primarios ya que notó una disminución del tamaño y peso de la bolsa de Fabricio y del timo. Esto indicaría que en las aves también pueden ver afectada su inmunidad humoral, el problema está en que no puede ser diagnosticada a tiempo y mientras esto sucede, las aflatoxinas han deteriorado la fagocitosis permitiendo la entrada a microorganismos causantes de enfermedades concomitantes.

Díaz (2000) demostró con un estudio en machos de la raza White Leghorn que la presencia de AFs en el alimento influye directamente sobre el consumo de alimento. La producción se ve afectada aunque de manera tardía, ya que se pueden encontrar folículos preovulatorios que fueron formados antes del consumo de la micotoxina en el tracto reproductivo de las aves.



Fuente: Díaz (2010).

Gráfica 1. Dieta con aflatoxinas en machos adultos.

Dentro de las enfermedades concomitantes que pueden desencadenar la aflatoxicosis, están la coccidiosis y salmonelosis. También se observa pobre respuesta inmune después de las vacunaciones, lo cual provoca reducción en el rendimiento productivo y mayor mortalidad (Aranibar, 2007).

Diagnóstico.

Según Bueno et al. (2001) el diagnóstico presuntivo de una aflatoxicosis considera: la falta de causa aparente de enfermedad, la ausencia de contagio de la enfermedad, la asociación de determinado alimento, resistencia a tratamientos, periodicidad de los brotes estacionales y el aspecto mohoso del alimento pero como ya se dijo antes no son signos únicos para este tipo de enfermedad. Actualmente, la metodología más específica, precisa y confiable para el diagnóstico de las aflatoxicosis es la obtenida con el empleo de procesos químicos; estos procedimientos podrán ser tanto la Cromatografía en Capa Delgada (TLC), como la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) (Torres, Aparicio & García, 2014).

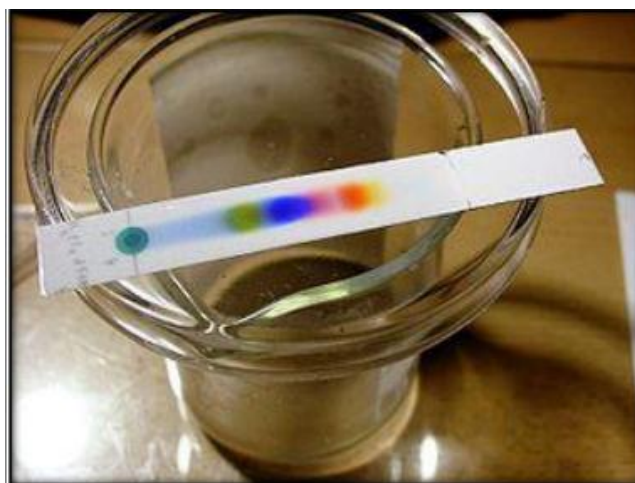
También pueden utilizarse métodos basados en ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), a pesar de que es aconsejable reconfirmar por alguno de los métodos señalados anteriormente cuando se encuentren resultados positivos, ya que utiliza anticuerpos policlonales que pueden dar falsos positivos como lo dice Escobar (2005).

El diagnóstico diferencial es bastante difícil ya que otras micotoxinas (T-2 toxinas, Rubratoxinas, Cobtatoxinas) pueden estar presentes junto a las Aflatoxinas, por lo que es necesario realizar pruebas de laboratorio extensivas y diferenciarlas. También deben diferenciarse de las intoxicaciones por dicumarol, alquitrán, cobre y carbono (Escalona, Figueredo, Ramayo & Ramos, 2005).

Cromatografía en Capa Delgada (TLC). Este método ofrece la capacidad de analizar una gran cantidad de muestras simultáneamente, lo que la hace una técnica económica. El uso de TLC en el análisis de micotoxinas sigue siendo popular para realizar determinaciones cuantitativas y semicuantitativas. El procedimiento para Aflatoxinas y Zearalenona es el siguiente:

se homogeniza la muestra y posteriormente se toman 50gr del material molido, se adicionan 250 ml de una disolución metanol-agua (55:45), 100 ml de hexano y 4 g de cloruro de sodio, se someten a agitación con un agitador de aspas durante 10 minutos; una vez cumplido el tiempo, se procede a filtrar con un embudo y papel de filtro; se separan las dos fases, y se recuperan 25 ml de la fase acuosa, donde se realizaron dos extracciones sucesivas con 25 y 12 ml de tolueno respectivamente. Finalmente, se recupera la fase orgánica en un vaso de precipitados, adicionando sulfato de sodio anhidro, la fase orgánica obtenida se lleva a sequedad con rotavapor a 80°C. El residuo seco se resuspende en 200 µl de benceno-acetonitrilo (98:2) y se siembran 10 µl en una placa de sílice gel 60 con base de aluminio. Adicionalmente se siembran patrones de Aflatoxina B1 y Zearalenona de concentración conocida, y se desarrolla la Cromatografía en Placa Delgada (TLC), utilizando cloroformo-acetona (90:10) como disolvente de corrida. Una vez retirada la placa de la cámara, se deja secar y se procede a observarla bajo una lámpara de luz UV (Soria, 2013).

La mayor parte de las placas de cromatografía llevan un indicador fluorescente que permite la visualización de los compuestos activos a la luz ultravioleta (254 nm). El indicador absorbe la luz UV y emite luz visible. La presencia de un compuesto activo en el UV evita que el indicador absorba la luz en la zona en la que se encuentra el producto, y el resultado es la visualización de una mancha en la placa que indica la presencia de un compuesto. En el caso de compuestos que no absorben luz UV, la visualización (o revelado) del cromatograma requiere utilizar un agente revelador este tiene que reaccionar con los productos adsorbidos proporcionando compuestos coloreados como se observa a continuación (Smith, 2016; Soria, 2013).



Fuente: Young (2017).

Figura 6. Placa de cromatografía indicando presencia de aflatoxinas.

Cromatografía líquida de alta presión (HPLC). Es la más utilizada en la industria para la detección de micotoxinas y existen numerosos protocolos para el análisis. La mayoría de los protocolos se basan en realizar una pre purificación de la muestra con columna de extracción en fase sólidos (SPE por sus siglas en inglés) y la separación por HPLC

empleando como detector la fluorescencia o bien la espectrometría de masas (EM) (Soria, 2013).



Fuente: Malla Bravo, A. C., López, S. & Vanessa, S. (2016).

Figura 7. Prueba de detección de micotoxinas.

Sin embargo, esta idea ha llevado a algunos investigadores a pensar de manera errónea que el uso de LC-MS/MS elimina de manera efectiva todos los efectos de matriz; en realidad, el aumento impredecible o la disminución de la intensidad de la señal en el análisis pueden ocurrir debido a la coalición de componentes de la matriz que perturban la ionización de la micotoxina, concluyendo que la preparación de la muestra es uno de los pasos más importantes en el análisis de las micotoxinas (Gómez, 2013).

Emisión de Fluorescencia. Las AFB1 y AFB2 y Ocratoxina A emiten fluorescencia azul al incidir sobre ellas luz UV, verde para el caso de AFG1 y AFG2. Su uso es útil como prueba preliminar pero tiene muchas limitaciones debido a la frecuencia de falsos positivos y negativos.

Solo puede ser usada para evaluar maíz partido, no es apropiada para granos enteros de ningún tipo, además debe usarse luz UV de onda larga, la onda corta no es recomendada y únicamente identifica la contaminación por aflatoxinas (Bueno et al., 2001).

Enzimoimmunoanálisis (ELISA). El método de ELISA para determinar micotoxinas ha estado disponible por más de quince años. La FAO indica que para la detección de micotoxinas se puede utilizar ELISA directo por medio del conjugado enzima-micotoxina mientras que la indirecta proteína-micotoxina y un anticuerpo secundario con el cual una enzima ha sido conjugada ya sea fosfatasa alcalina o β -galactosidasa.

El procedimiento descrito por Soria (2013) es el siguiente: Después de que una micotoxina se extrae de una muestra con algún disolvente generalmente metanol al 70%, se muele la matriz y se pesan 5 gramos de ésta y se colocan con 25 ml de disolución extractora, se agitan vigorosamente durante 5 min y se filtran con papel filtro Whatman # 1, del filtrado se diluye con agua en proporción 1:1. Se extrae una porción del extracto de la muestra y una porción de la micotoxina, la enzima conjugada se mezcla y después se añaden a los pocillos de microtitulación recubiertas de anticuerpos. Se le deja competir a la micotoxina con la micotoxina-conjugada por los sitios de unión de los anticuerpos. Después se realiza un lavado, y se añade el sustrato de la enzima y se desarrolla un color azul. La intensidad del color es inversamente proporcional a la concentración de micotoxina en la muestra o el estándar. Una solución de paro se añade posteriormente para detener la reacción enzimática. La intensidad del color de la solución en los pocillos de microtitulación se mide ópticamente usando un lector de ELISA con un filtro de absorbancia de 450 nm.

Las densidades ópticas (DO) de las muestras se comparan con la DO de los estándares para realizar el cálculo correspondiente a cada micotoxina y determinar su concentración de manera cuantitativa. Los resultados de los Kits de ensayo de ELISA se ven favorecidos como ensayos de alto rendimiento con bajos requisitos de volumen de la muestra y, a menudo sin realizar prepurificaciones.



Fuente: Lamviet (2018).

Figura 8. Kit ELISA.

Capítulo V.

Prevención y Control.

Las medidas de prevención se dividen teniendo en cuenta el periodo en el que se realizan ya sea antes, durante o después de la cosecha. Las fábricas de alimentos balanceados deben centrar sus esfuerzos en la adquisición y mantenimiento de la calidad de las materias primas durante el almacenamiento y procesamiento hasta la distribución del producto (Bueno et al., 2001). La trazabilidad o rastreabilidad es una herramienta bastante útil para controlar la presencia de Aflatoxinas ya sea en el alimento o en las materias primas, Soriano (2007) la define como

la posibilidad de encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de la producción, transformación y distribución de un alimento, un pienso, un animal destinado a la producción de alimentos o sustancias destinadas a ser incorporadas a los alimentos o con posibilidad de serlo .(p 396).

Básicamente, la trazabilidad está formada por tres elementos:

- Buenas prácticas agrícolas.
- Buenas prácticas de almacenamiento y manufactura.
- Sistema de análisis, peligros y puntos críticos (HACCP): con el fin de tener un completo dominio sobre el proceso directivo (Martínez et al., 2013).

Dentro de las medidas que se llevan a cabo en campo para prevenir la producción de aflatoxinas, Martínez et al. (2013) resaltan las siguientes:

– *Durante la siembra:*

- Limpieza del terreno de siembra para el nuevo cultivo destruyendo o eliminando las cabezas o frutos de semillas (por ejemplo de maíz, maní o cacahuate, etc.) de cultivos susceptibles de acumular aflatoxinas.
- Hacer estudios de suelo y entorno para solo usar la cantidad necesaria de fertilizantes, herbicidas e insecticidas.
- Uso de semillas resistentes a variedades de hongos micotoxigénicos.
- Evitar la excesiva densidad de siembra.
- Hacer una buena rotación de cultivos.

– *Durante la etapa de recolección:*

- Recolectar los cultivos cuando estén completamente maduros, a no ser que por dejar que el cultivo llegue a su plena madurez se le exponga a condiciones extremas de calor, lluvias o sequía.
- Realizar un secado, evitar apilamiento de productos húmedos, con lo que se fomentaría el crecimiento de hongos y posteriormente la producción de aflatoxinas.
- Proteger contra la lluvia durante el secado al sol.

– *Durante el almacenamiento y transporte:*

- Tomar las medidas adecuadas de saneamiento en las estructuras de almacenamiento y transporte.
- Protección de la lluvia y contacto con el agua.
- Impedir el acceso a insectos, roedores y aves.
- Cuando se almacena en sacos, ubicarlos encima de estibas o un medio de aislamiento impermeable entre los sacos y el suelo.
- Asegurarse de que los cultivos que hayan de almacenarse estén libres de mohos e insectos y que se sequen hasta alcanzar niveles de humedad inocuos (lo ideal sería que los cultivos se secaran hasta llegar a tener un contenido de humedad en equilibrio con una humedad relativa del 70%).
- Procurar una ventilación constante para asegurar el mantenimiento de las condiciones de aireación y temperatura.

Es posible utilizar conservantes como el ácido propiónico (ácido orgánico), poniendo atención en las cantidades que garanticen la inhibición del hongo, pero que no sobrepasen los niveles permitidos en los productos en los que se va a utilizar (según normativa para alimentos y piensos de cada país). Sin embargo, muchas veces la contaminación de alimentos y materias primas es inevitable, así que deben buscarse técnicas de descontaminación que sean a bajo costo y que no alteren la calidad nutricional de los mismos (Martin et al., 2002).

Métodos de Descontaminación.

Los métodos de descontaminación incluyen procesos como: extracción con solventes, adsorción o inactivación del hongo toxigénico o directamente de la toxina. Estos procesos se pueden dividir básicamente en físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos, aunque algunos métodos utilizan combinaciones de los diferentes principios de acción.

Físicos. Son de escaso uso en la industria avícola ya que se basa en la esterilización de la materia prima. Su aplicación es poco práctica y su eficiencia depende del grado de contaminación y de la distribución de las micotoxinas en el grano.

Calor. La mayoría de las micotoxinas son relativamente termoestables dentro del intervalo de temperaturas convencionales de procesamiento de alimentos (80-121°C), por lo que se produce poca o ninguna destrucción bajo condiciones normales. Las aflatoxinas tienen altas temperaturas de descomposición que van desde 237°C a 306°C (Kabak, Dobson & Var, 2006). Se ha intentado usar calor para inactivar las aflatoxinas en alimentos contaminados, pero esto puede tener repercusiones en las cualidades organolépticas y nutricionales en éstos. Es importante tener en cuenta en estos tratamientos no solo la temperatura sino el tiempo de aplicación a la cual se ven sometidos, ya que conlleva a una mayor efectividad en el proceso de descontaminación (Martínez et al., 2013).

Radiaciones ionizantes (a una dosis de 1500 Gy). Los rayos X son capaces de producir una emisión elevada de energía, la cual produce la ruptura de estructuras moleculares estables (Udomkun, Wiredu, Nagle, Müller, Vanlauwe & Bandyopadhyay, 2017). Se ha establecido que

las aflatoxinas B1 y G1 son más sensibles a los rayos X, la combinación con calor da mejores resultados aunque no hay un efecto directo sobre la capacidad productora de toxinas tan solo disminuye el número de esporas viables y con ellas la cantidad de aflatoxinas (Bueno et al., 2001). Los rayos gamma han sido considerados una herramienta efectiva para preservar y mantener la calidad de productos agrícolas y alimenticios.

Extracción. Se ha usado para remover aflatoxinas en semillas oleaginosas, maní y semillas de algodón que a su vez pueden solo ser usadas para alimentación animal. Los solventes usados incluyen etanol al 95%, acetona acuosa al 90%, isopropanol al 80%, hexano-metanol, metanol-agua, acetonitriloagua, hexano-etanol-agua y acetona-hexanoagua. La proporción solvente/muestra ha mostrado ser crucial para la recuperación de la toxina (Martínez et al., 2013). Este método tiene alta efectividad, sin embargo, su aplicación a gran escala es limitada por los altos costos y problemas relacionados con la disposición de residuos tóxicos.

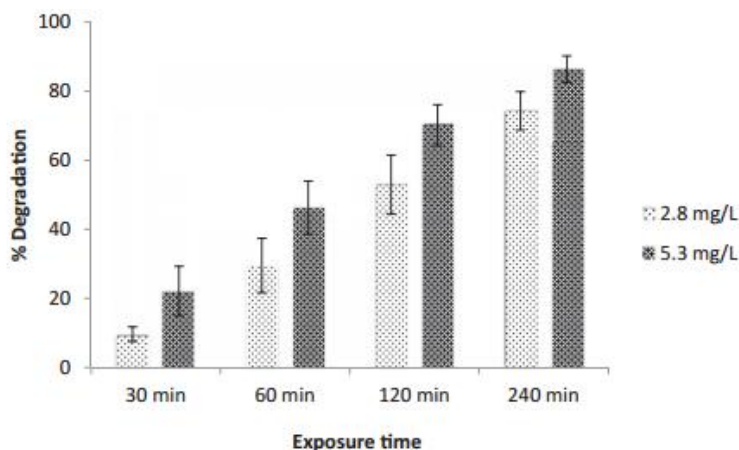
Químicos. Una amplia variedad de sustancias químicas se han estudiado para la eliminación de algunas micotoxinas y se aplican a productos contaminados naturalmente. Sin embargo, el uso de la mayoría es impráctico ya que algunos dan lugar a la formación de residuos tóxicos y otros afectan las características sensoriales y nutricias del alimento (Soriano, 2007; Sanchis et al., 2006; García y Heredia, 2006; Magan, 2006).

Tratamientos con ácidos. Tratamientos con ácidos fuertes destruye la actividad biológica de AFB1 y AFG1. Estudios con HCl (pH 2) han reducido los niveles de AFB1 en 19% en un plazo de 24 horas (Lara, 2003).

Tratamientos con bases. Las bases son sustancias que poseen propiedades alcalinas.

El método de amonificación es el que ha recibido mayor atención para la eliminación de Aflatoxinas y se ha usado en Estados Unidos y Europa (Lara, 2003). Actualmente es el recurso económicamente más viable para descontaminación. El amoníaco en forma gaseosa se añade a cultivos en un área sellada y permite impregnar durante 1 a 2 semanas. En un estudio sobre maíz contaminado artificialmente, los procedimientos de amonificación destruyeron 90% de aflatoxinas (Nyandieka, Maina & Nyamwange, 2009). Esta práctica normalmente hace que los productos anteriormente inseguros para consumo, sean seguros para el animal por la disminución de los niveles de aflatoxinas en un rango menor. Estudios realizados en dos grupos de pollos lo demostraron: un grupo fue alimentado con maíz contaminado con aflatoxinas, y otro se alimentó con maíz contaminado con aflatoxinas que había sido tratado con amoníaco. Después de 6 semanas, el primer grupo mostró un aumento significativo en la tasa de mortalidad, en comparación con el segundo grupo. Así mismo, la ingesta dietética, el aumento de peso y la tasa de conversión alimenticia fueron suprimidos en los pollos del primer grupo, mientras que los del grupo 2 mostraron un crecimiento normal.

Agentes oxidantes. Las aflatoxinas poseen un doble enlace terminal en el anillo de dihidrofurano haciéndolas más sensibles a los agentes oxidantes como el ozono y el peróxido de hidrogeno (3%) (Kabak et al., 2006). El uso de agentes oxidantes viene desde la década de los 60 manteniendo su alta efectividad Dwarakanath et al. (1968) quisieron usar aire ozonizado en el almacenamiento como agente oxidante para la degradación de aflatoxinas en semillas de algodón, expuestas a 100°C durante 2 horas y a una humedad del 22%. El resultado fue una destrucción completa de las aflatoxinas B1 y G1 sin embargo, no hubo efecto en aflatoxina B2. Además de esto disminuyó la lisina y la proteína de la materia prima. A continuación, se expone el porcentaje de degradación de aflatoxinas expuestas a distintas concentraciones de ozono gaseoso (2.8 mg/L y 5.3 mg/L) por 240 minutos.



Fuente: Torlak et al. (2016).

Gráfica 2. Porcentaje de degradación de aflatoxinas.

Torlak et al. (2016) usaron ozono a concentraciones de 2.8 y 5.3 mg/L midiendo el porcentaje de degradación en 30, 60, 120 y 240 minutos posterior al proceso de ozonizado (Tabla 2), obteniendo 74.3% y 86.4% de degradación de AFB1. El peróxido de hidrogeno (H₂O₂) ha

sido usado hasta con un 97% de efectividad en la destrucción de aflatoxinas con la ventaja que no afecta de ningún modo la proteína del alimento. En seguida se presentan los niveles de aflatoxinas ($\mu\text{g}/\text{Kg}$) en porciones de pienso expuestos a ozono gaseoso durante 240 minutos.

Tabla 2. Niveles de aflatoxinas en pienso.

<i>Exposure time (min)</i>	<i>Ozone concentration (mg/L)</i>	
	2.8	5.3
0	$32.8 \pm 3.3\text{a}$	$32.8 \pm 3.3^{\text{a}}$
30	$29.6 \pm 3.5\text{a}$	$25.5 \pm 3.6\text{a}$
60	$23.1 \pm 3.3\text{b}$	$17.8 \pm 4.3\text{b}$
120	$15.5 \pm 3.7\text{c}$	$9.9 \pm 2.8\text{c}$
240	$8.5 \pm 2.4\text{d}$	$4.5 \pm 1.6\text{d}$

Fuente: Torlak et al. (2016).

Biológicos. La desintoxicación biológica es un método prometedor para materias primas y alimentos contaminados ya que permite la eliminación de AFs en condiciones poco agresivas, preservando los atributos del alimento (Adegoke & Letuma, 2013). Dentro de los métodos biológicos para la descontaminación de materias primas y/o alimento balanceado está el uso de microorganismos competitivos, enzimas microbianas, modificación genética de los granos y de los hongos (inoculando cepas no toxigénicas en plantas o granos susceptibles) (Rodríguez, 2009). Las bacterias utilizadas principalmente como secuestrantes de micotoxinas son

Lactobacillus y *Streptococcus* mediante enlaces hidrofóbicos donde las micotoxinas se unen a la superficie bacteriana (Tapia et al., 2010).

Probióticos. El proceso se basa en el establecimiento de interacciones biológicas entre las aflatoxinas y los elementos de la pared celular de algunos microorganismos generalmente reconocidos como seguros (GRAS, por sus siglas en inglés), como las bacterias ácido lácticas y otros probióticos (Rivas, Corral & Montfort, 2016). La caracterización del complejo probiótico-aflatoxina es crucial para poder escalar la remoción por bacterias, a nivel industrial. Como ya se indicó, la afinidad de la unión depende del tipo de bacteria y de aflatoxina estudiada. En estudios con *L. rhamnosus GG* y *L. rhamnosus LC705* se demostró que la unión con AFs ocurre en la superficie de la bacteria y puede detectarse con anticuerpos antiaflatoxina, cuya masa molecular les impide atravesar la pared celular bacteriana (Haskard, El-Nezami, Kankaanpää, Salminen & Ahokas, 2000). Haskard et al. (2001) estudiaron la capacidad de diferentes bacterias Gram+ y Gram- para eliminar Aflatoxina B1 de un medio contaminado. Las Gram+ mostraron los mejores resultados, entre ellas *Lactobacillus rhamnosus GG* y *L. rhamnosus LC705*, las cuales removieron hasta el 80% de la AFB1 presente.

Shetty y Jespersen (2006) examinaron la habilidad de enlazar Aflatoxina B1 por diferentes cepas de bacterias ácido lácticas y levaduras. Los mejores resultados se obtuvieron con las cepas de *L. plantarum* y *L. fermentum*, las cuales eliminaron el 60% de AFB1 de una solución salina contaminada. La presencia de polisacáridos (glucosa, manosa y acetilglucosamina), proteínas y lípidos presentes en las paredes celulares de levaduras genera numerosos mecanismos de adsorción, tales como puentes de hidrógeno, interacciones iónicas o hidrofóbicas (Huwig, Shetty & Jespersen, 2001).

También se ha utilizado el cultivo de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, cuya pared celular al parecer tiene propiedades que contribuyen secuestrando la Aflatoxina en el alimento produciendo resultados productivos satisfactorios en pollos de engorde (Arrieta, Pérez, Hernández-Fonseca, Oviedo, Miranda & Luengo, 2008).

En respuesta a los problemas de micotoxicosis Arrieta et al. (2008) demostraron un sinergismo entre el selenio (Se) y *Saccharomyces cerevisiae* para disminuir la hepatotoxicidad causada por la ingestión de AFB1. A continuación, se presenta el índice de relación peso ave/Bursa. Porcentaje de linfocitos viables e histopatología de la Bursa de fabricio en pollos de engorde a los 42 días de edad expuestos a AFB1 y suplementados con *saccharomyces cerevisiae* y/o selenio.

Tabla 3. Índice de relación peso ave/Bursa.

<i>Porcentaje de linfocitos viables e histopatología de la Bursa de fabricio en pollos</i>			
<i>Tratamiento</i>	Variables		
	<i>Índice B/PC</i>	<i>PLV</i>	<i>Grados histopatología</i>
T1 Control	0,72 ± 0,17	28,01 ± 1,86	2 ± 0
T2 AFB1	0,40 ± 0,29*	23,55 ± 3,56	3,25 ± 0,31*
T3 Lev	0,55 ± 0,05	29,52 ± 2,21	2,44 ± 0,22
T4 AFB1 + Lev	0,43 ± 0,03	25,83 ± 2,50	2,62 ± 0,18
T5 Sel	0,59 ± 0,08	28,38 ± 2,19	2,25 ± 0,16
T6 AFB1 + Sel	0,44 ± 0,02	25,53 ± 2,21	2,75 ± 0,26
T7 Lev + Sel	0,46 ± 0,02	26,20 ± 2,24	2,25 ± 0,25
T8 AFB1+Lev+Sel	0,73 ± 0,26	32,02 ± 2,74	2,25 ± 0,16

Fuente: Martín et al. (2013).

El selenio suministrado a una concentración de 2,5 mg/Kg demostró prevenir los efectos negativos de la aflatoxicosis mejorando la respuesta inmune a través del incremento de los halterófilos y monocitos, de aumentar el nivel de proteínas séricas y disminuir el grado de alteración histopatológica de la Bursa de Fabricio.

Los valores en cada caso corresponden a la media de ocho aves. \pm Error. Estándar. AFB1 = Aflatoxina B1 (70 μ g/kg). Lev = 0,1% *Saccharomyces cerevisiae*. Sel 2.5 mg/kg (*) difiere dentro de columna (P <0.05). (1) Índice = peso de la Bursa de Fabricio/peso del ave x 1000. Marín, Rivera, Finol & Mavárez (2003). (2) PLV (Porcentaje de linfocitos viables: valores porcentuales entre 30 y 35% = bursa sana. (3) grados de lesión: El *score* de lesiones se rige así: Grado 0 = normal. Grado 1: folículos aislados con necrosis leve. Grado 2: depleción linfoide moderada o folículos aislados con depleción linfoide severa. Grado 3: depleción linfoide severa en más del 50% de los folículos. Grado 4: folículos con escasos linfocitos y con quistes, aumento del tejido conectivo, epitelio engrosado y con pliegues. Grado 5: pérdida total de la estructura folicular y marcada fibroplasia.

Rivas, Corral & Monfort (2016) determinaron la bio-accesibilidad *in vitro* de diferentes AFs en 7 alimentos contaminados y la efectividad de diferentes probióticos (*B. longum*, *L. rhamnosus*, *B. species 420*, *L. acidophilus NCFM 150B* y *L. casei Shirota*) para disminuirla. La bio-accesibilidad encontrada en AFB1 (85.1-98.1%), AFG1 (85.3-95.1%), AFB2 (83.3-91.8%) y AGB2 (80.7-91.2%) fue independiente del tipo de alimento estudiado. La presencia de probióticos disminuyó significativamente (p < 0.05) la bio-accesibilidad (10.5 a 35.6 %), dependiendo del tipo de Aflatoxina, del alimento y de la especie de probiótico. En general el probiótico más eficiente fue *L. acidophilus NCFM 150B* y el que menos unió aflatoxinas fue *L. casei Shirota*.

Rivas et al. (2016) llevaron a cabo un estudio de bio-accesibilidad similar, determinando la capacidad de 4 cepas (*Lactobacillus reuteri* NRRL B-14171, *Lactobacillus rhamnosus* NRRL B-442, *Lactobacillus johnsonii* NRRL B-2178 y *Bifidobacterium bifidum* NRRL B-41410) para disminuir la bio-accesibilidad de AFM1. La reducción de la bio-accesibilidad fluctuó desde 22.72 hasta 45.17 % dependiendo de la cepa, siendo el probiótico más eficiente *B. bifidum* NRRL B-41410. La concentración de bacteria también es importante según Peltonen et al. (2001), esta debe exceder siempre 1×10^9 UFC/ml y su efectividad es cepa específica.

Los productos vegetales naturales son de interés como sustitutos más eficaces de que sintéticos siendo una gran alternativa para prevenir la contaminación de alimentos balanceados. Krishnamurthy y Shashikala (2006) informaron que la hoja en polvo de *Withania somnifera* (hierba del sueño o bufera), *Hyptis suaveolens* (planta de Chan) y de cáscara de *Citrus sinensis* (naranja) y *C. medica* (cedro o cidra) inhibieron la producción de aflatoxina B1. Estudios realizados con *Trachyspermum ammi* (ajowan o semillas de timol) demostraron que logran una capacidad de adsorción del 90.8% transcurridas 24 horas posteriormente a su inclusión (Velazhahan et al., 2010).

Ácidos Orgánicos. Otro agente antifúngico de cadena corta usado es el ácido propiónico, ha demostrado tener un alto efecto en la inhibición del crecimiento del *A. flavus*. El ácido propiónico tiene la facilidad de preservar la alta humedad del maíz sin reducir su valor nutricional al igual que las sales de ácido sórbico (Ellis, Smith, Simpson, Oldham & Scott, 2005). El ácido propiónico es muy efectivo, sin embargo, el uso de ácidos puros causa muchos problemas como son: corrosión en maquinarias, vapores nocivos e incluso quemaduras severas

en las personas que la manipulan. El ácido propiónico amortiguado mediante procesos especiales forma un complejo (dipropionato de amonio) con mayor capacidad buffer que se disocia en presencia de la humedad contenida en el alimento o los granos, liberando propionato que se encarga de inhibir los hongos toxigenicos (Aurrecoechea, 2000).

A continuación un comparativo entre diferentes tipos de detoxificantes anteriormente tratados, los aluminosilicatos hidratados de calcio y sodio (HSCAS) entre los orgánicos los glucomananos esterificados (EGM) y un tercer tipo denominado multimodular (MM). Los HSCAS consisten básicamente en arcillas de aluminio y silicio combinados con otros minerales. Los EGM se obtienen a partir de la esterilización de la pared celular de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y el MM está formado por minerales, microorganismos, sustancias fitogénicas y constituyentes ficolíticos.

Tabla 4. Comparativo.

<i>Comparación de la eficacia in vitro de diferentes secuestrantes comerciales sobre la AFBI</i>			
<i>Modo de acción</i>	<i>Composición</i>	<i>AFBI libre ($\mu\text{g/ml}$)</i>	<i>Habilidad de unión a la AFBI (%)</i>
Control		5	0
EGM	Extractos de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	$3,9 \pm 1,4$	$22 \pm 1,4^a$
	HSCAS		
HSCAS1	HSCAS	$0,4 \pm 0,2$	$92 \pm 5,9b$
	Compuestos sulfurados		
HSCAS 2	HSCAS	$1,2 \pm 0,1$	$76 \pm 2,3b$

MM	Microorganismos (<i>Trichosporon mycotoxinivorans</i>)	0,6 ± 0,5	89 ± 4,9b
	HSCAS		
	Extracto de plantas y algas		
	Enzimas		

Fuente: Pan et al. (2016).

Inhibidores de hongos- Existen otros métodos que descontaminan a partir de la inhibición del hongo afectando más la esporulación que el crecimiento micelial aunque no eliminan las micotoxinas ya existentes en el grano o el alimento. Los más usados son propionato de sodio, calcio o amonio, ácido sórbico, ácido ascórbico y el colorante violeta de genciana ya que no se alteran durante el proceso de granulado (Bueno et al., 2001). Alam et al. (2014) indicaron que la incorporación de 5 g/kg de propionato de calcio redujo significativamente el conteo total de hongos y por ende la producción de aflatoxinas en el alimento para pollo de engorde. El propionato de amonio tiene una doble acción antifúngica, ya que se disocia en contacto con la humedad de los granos en amoniaco y ácido propionico (Martínez, Badillo & Parra, 2000).

Por otro lado, los derivados del ácido benzoico podrían ser usados como fungicidas y antiaflatoxinas porque inhiben actividades enzimáticas del hongo. Es preferible adicionar el inhibidor directamente al grano y no al producto terminado debido a que los hongos productores de micotoxinas crecen mejor en granos de cereales y pueden sintetizar toxinas durante su almacenamiento (Bueno et al., 2001).

Adsorbentes. Anteriormente se retiraba el alimento contaminado al detectar la presencia de aflatoxinas en el alimento y se incrementaba la energía y la proteína de la ración. Sin embargo actualmente se utilizan adsorbentes como las bentonitas, aluminosilicatos, zeolitas y productos enzimáticos por reducir los costos y ser más efectivo (Bailey et al., 2006). Estos adsorbentes tienen la ventaja de poder ser empleados a gran escala y ser específicos para los diferentes tipos de aflatoxinas.

Los agentes adsorbentes son aquellos que tienen la capacidad de quelar las micotoxinas, lo cual permite reducir su disponibilidad y ser eliminadas por las heces (Lara, Rivera, Bringas & Pérez, 2003). Estos agentes se unen a las micotoxinas que se encuentran en el alimento evitando su disociación en el tracto digestivo del animal. Los agentes adsorbentes se clasifican como adsorbentes minerales (arcillas, carbón activado, tierra de diatomeas) y adsorbentes orgánicos (fibras de plantas, extractos de paredes celulares de levadura y bacterias) (Bueno et al., 2001).

El uso de adsorbentes de micotoxinas es cada día mayor, pero también lo es el número de productos que aparecen en el mercado. Por consiguiente, el productor pecuario se encuentra ante una amplia gama de productos que ofrecen desde soluciones reales hasta soluciones mágicas. La selección adecuada del adsorbente es un factor crítico para tener buenos resultados. Se deben tomar en cuenta entre otros factores su espectro de acción, su capacidad de adsorción, su calidad y su respaldo tecnológico (Lara, 2003).

Se busca que los secuestrantes de aflatoxinas sean productos de alta eficiencia, con bajos niveles de inclusión para optimizar el resultado y evitar el efecto de dilución del valor nutricional de las materias primas contaminadas. En estudios de laboratorio y de campo, la inclusión de 0.57% del adsorbente, logra una adsorción de 50 a 70% *in vivo*. Al 1% puede obtenerse alguna

ventaja adicional pero resulta dudosa su justificación económica (Bueno et al., 2001). En general los productos secuestrantes de micotoxinas en el mercado recomiendan una dosificación de 1 a 10 Kg/Ton en el alimento (Bueno et al., 2001).

Agentes reductores. Son compuestos que seden electrones a un agente oxidante. Un ejemplo es el bisulfato de sodio (NaHSO_3) que en estudios demostró que tratamientos con este compuesto a concentraciones del 0.5 al 2% destruyeron del 80 al 90% de AFB1 en maíz (Li, Suo & Su, 2010).

Adsorbentes Minerales. En la industria de la alimentación animal el uso de arcillas es habitual como agente antiapelmazante, lubricantes, aglomerantes y como adsorbentes de compuestos no deseados en el alimento balanceado. Las arcillas son sustancias terrosas formadas principalmente por silicatos alumínicos con materia coloidal y trozos de fragmentos de rocas, que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alumínicas.

Más del 90% de los minerales que forman las rocas son silicatos, compuestos de silicio y oxígeno y uno o más iones metálicos. Cada uno de los silicatos tiene como compuesto básico, un ion complejo de forma tetraédrica; este tetraedro consiste en una combinación de un ion de silicio con cuatro átomos de oxígeno. De los cuatro átomos de oxígeno, tres se encuentran compartidos con otros átomos de silicio que son componentes de otro tetraedro, dando origen a una lámina tetraédrica. Estos tetraedros pueden unirse entre sí de diversos modos y formar diferentes grupos, tales como nesosilicatos (tetraedro simple), sorosilicatos (dobles tetraedros),

ciclosilicatos (anillos), inosilicatos (simples y dobles cadenas), filosilicatos (hojas), tectosilicatos, siendo estos dos últimos los grupos más importantes. Dentro de los filosilicatos se encuentran las montmorillonitas, mientras que dentro los tectosilicatos se encuentran las zeolitas (Tapia Salazar et al., 2010).

Dentro de las arcillas se encuentra la Bentonita, sus partículas granulosas son muy finas y por su capacidad de intercambio catiónico puede formar geles que atrapan las AF (Daković et al., 2010; Marroquín Cardona et al., 2009; Vekiru et al., 2007). Se ha demostrado la eficacia en la reducción de los efectos tóxicos de la AF mediante la adición de bentonita de sodio en dietas que contienen 0.84 mg/Kg, observándose una mejor ganancia de peso y consumo de alimento diario, pero su concentración de incorporación en la dieta debe ser relativamente alta (alrededor de 10 veces más) que el nivel de AF. López et al. (2006) demostraron en un estudio que la presencia de aflatoxinas en el alimento afecta directamente el consumo y el peso corporal (Tablas 5 y 6) sin importar la edad de las aves, así como el uso de bentonita en la ración mejoro sustancialmente este índice productivo (Tapia Salazar et al., 2010).

Tabla 5. Evaluación de consumo de alimento contaminado.

<i>Evaluación del consumo de alimento balanceado contaminado con aflatoxinas y uso de bentonita como adsorbente de toxinas en diferentes etapas de crecimiento en pollo de engorde</i>			
<i>Tratamiento</i>	Consumo (g)		
	Periodo (días)		
	<i>1 a 21</i>	<i>1 a 35</i>	<i>1 a 42</i>
(T1) Sem aflatoxina	980,8 ± 35,3c	2667,5 ± 118,1c	3858,9 ± 116,3c
(T2) Aflatoxina*	869,5 ± 38,2a	1635,3 ± 114,8a	2420,7 ± 151,8 ^a
(T3) Sem afla + 0,5% bent	1078,3 ± 19,3d	2783,9 ± 77,4c	3965,6 ± 142,7c
(T4) afla + 0,1% bentonita*	919,1 ± 12,1 b	1950,7 ± 39,5b	2861,7 ± 66,6b
(T5) afla + 0,3% bentonita*	947,3 ± 30,9bc	2086,2 ± 116,2b	2972,9 ± 135,0b

(T6) afla + 0.5% bentonita* 938,1 ± 32,9 bc 2037,4 ± 112,4 b 2963,9 ± 232,1b

Fuente: Lopes, Rutz, Mallmann & Pinto de Toledo. (2006).

Tabla 6. Evaluación de ganancia de peso.

<i>Evaluación de ganancia de peso consumiendo alimento balanceado diferentes etapas de crecimiento en pollo de engorde</i>			
<i>Tratamiento</i>	Consumo (g)		
	Periodo (días)		
	<i>1 a 21</i>	<i>1 a 35</i>	<i>1 a 42</i>
(T1) Sem aflatoxina	812,9 ± 22,7c	1773,5 ± 45,9d	2421,0 ± 74,8d
(T2) Aflatoxina*	471,6 ± 39,2a	1069,2 ± 42,8a	1550,9 ± 84,0a
(T3) Sem afla + 0,5% bent	769,1 ± 13,5d	1721,9 ± 49,4d	2354,6 ± 73,0d
(T4) afla + 0,1% bentonita*	507,6 ± 507,5b	1179,4 ± 29,6b	1676,5 ± 36,4b
(T5) afla + 0,3% bentonita*	570,4 ± 17,3c	1272,6 ± 49,2c	1795,1 ± 51,7c
(T6) afla + 0.5% bentonita*	563,7 ± 29,2c	1244,4 ± 53,0 bc	1777,1 ± 79,2 bc

Fuente: Lopes, Rutz, Mallmann & Pinto de Toledo. (2006).

Blandon Martínez, Pérez Hernández & Denli (2011) destaca la eficacia de la combinación de bentonita y sepiolita *in vitro* con niveles de 0.3% para la prevención de intoxicación por aflatoxina y zearalenona gracias a la capacidad de intercambio catiónico y superficie específica. En un estudio *in vitro* probando diferentes niveles de adsorbente (montmorillonita, silicato natural) con 4 tipos de aflatoxinas en diferentes condiciones de pH y temperatura, comprobaron que con la concentración más baja de arcilla (0.05%) obtenían un

porcentaje de adsorción del 78% y con un nivel de adsorbente de 5% se obtenían un porcentaje del 98%.

Los aluminosilicatos de calcio y sodio (HSCAS), pueden encontrarse de forma natural o mediante el tratamiento térmico de arcillas de calcio. Estos compuestos contienen moléculas de agua adheridas a un metal central o cristalizado con un metal complejo permitiendo un mayor secuestro de micotoxinas (Wang et al., 2008). Dentro de este grupo se encuentran las zeolitas pero las usadas en nutrición animal son la Clinoptilolita y la Mordenita, esto debido a la gran capacidad de intercambio catiónico (CIC), que estas variedades poseen y su gran poder de adsorción.

Posee diferentes propiedades como lo son el incremento en la postura, espesor de la cascara, peso del huevo, incrementa la acción de los coccidiostatos, remueve el amoniaco y otros gases tóxicos (Del Campo, 2004). Estudios con aluminosilicatos de sodio hidratado a concentración de 0.5% en la dieta de pollos disminuyeron significativamente los efectos negativos en el peso y en los cambios producidos por 7.5 mg de AFB1 /Kg. Los tratamientos se describen a continuación:

T1= Testigo negativo. 100% alimento comercial, 0 ppb AFB1, 0%

Aluminosilicatos

T2= Testigo positivo. 80 % ppb AFB1, 0% Aluminosilicatos

T3= 80% ppb AFB1, 0.5 % Aluminosilicatos A

T4= 80% ppb AFB1, 0.5 % Aluminosilicatos B

Tabla 7. Medidas generales de parámetros productivos.

<i>Medias generales de los parámetros productivos en pollo de engorde a los 56 días de edad usando alimentos contaminados por aflatoxinas</i>				
<i>Tratamiento</i>	<i>Peso Corporal (gr)</i>	<i>Consumo (gr)</i>	<i>Conversión</i>	<i>Mortalidad (%)</i>
1	2327 bc	4857 a	2.13 a	9.19 a
2	2293 c	4851 a	2.16 a	8.77 a
3	2386 a	4959 a	2.12 a	6.52 a
4	2352 ab	4980 a	2.16 a	6.67 a

Fuente: Arce et al. (2000).

Los datos del estudio anterior indican que si hay un efecto secuestrante por parte de los aluminosilicatos mediante adsorción evitando que las toxinas entren al organismo animal. Algunas investigaciones sugieren que las superficies basales externas, los bordes y el espacio entre las capas son los posibles sitios de adsorción de aflatoxinas (Arce, Ávila, Vásquez, López & Tirado, 2000) mientras que otras basados en la simulación computacional, concluyen que la adsorción se produce sólo en las superficies de borde externo y que el espacio entre capas es inaccesible para las toxinas (Villareal, 2014).

Girona y Giménez (2000) determinaron al hacer un ensayo con montmorillonita que puede considerarse un compuesto capaz de adsorber aflatoxinas. Los porcentajes de adsorción obtenidos a concentraciones del 1 al 5% (p/v) (Tabla 7) que superan en todos los casos el 98%, muestran valores muy similares a los obtenidos por otros autores que emplearon montmorillonitas de diversas procedencias, cuando se pretendía adsorber aflatoxina B1 a partir de una solución acuosa tamponada (pH 6,5). Estos elevados porcentajes de adsorción, obtenidos a concentraciones tan reducidas como del 1% (p/v), nos indican la alta capacidad adsorción que posee este silicato natural y la posibilidad de que tras su adición a alimentos contaminados con

aflatoxinas, especialmente si son líquidos, sea capaz de detoxificar el alimento contaminado (Girona & Giménez, 2000).

Tabla 8. Porcentaje medio de adsorción de aflatoxinas 1.

Porcentaje medio de adsorción de aflatoxinas (\pm de, media de tres determinaciones) con montmorillonita, en un medio tamponado a pH 7,0 y a 25 °C, tras una hora de agitación. Concentración inicial de aflatoxinas: 10 μ g/ml de aflatoxina b1, 1 μ g/ml de aflatoxina b2, 5 μ g/ml de aflatoxina G1 y 0,5 μ g/ml de aflatoxina G2

Concentración de montmorillonita % (p/v)	% medio de adsorción			
	<i>AFB1</i>	<i>AFB2</i>	<i>AFG1</i>	<i>AFG2</i>
0,05	78,35 (1,28)a	38,67 (1,17)a	67,03 (1,16)a	29,84 (0,89)a
0,1	93,26 (1,78)b	76,32 (2,00)b	82,48 (1,72)b	57,74 (1,16)b
0,25	98,07 (2,15)c	94,43 (1,78)c	95,91 (2,24)c	85,30 (1,17)c
0,5	98,95 (2,12)cd	99,43 (1,15)cd	96,16 (2,47)c	94,40 (1,07)c
1,00	99,38 (3,20)d	99,27 (1,77)d	98,06 (3,00)d	98,15 (1,70)d
2,5	99,47 (4,71)d	99,52 (0,99)d	98,91 (2,00)d	99,14 (0,93)e
5	99,78 (1,28)d	99,56 (1,71)d	98,24 (3,03)d	98,99 (1,56)e

DE: Desviación Estándar

a, b, c, d, e Resultados con distinto superíndice, en la misma columna, difieren entre si significativamente ($p < 0,05$)

Fuente: Girona y Giménez, (2000).

La formación del complejo de adsorción entre las aflatoxinas y la montmorillonita es un proceso que ocurre de una forma casi inmediata y permanente en el tiempo (Tabla 8). Estos resultados coinciden con los observados para el caso de la adsorción de la aflatoxina B1 con otro silicato, el HSCAS (aluminosilicatos hidratados de sodio y calcio), para el cual se ha demostrado que la reacción de formación del complejo alcanza el equilibrio en 30 minutos. Este hecho es de gran importancia si se tiene en cuenta que la absorción intestinal de las aflatoxinas ocurre de una forma muy rápida. Es pues necesario que cuando las aflatoxinas lleguen al intestino el complejo montmorillonita-micotoxinas ya esté formado, a fin de que se evite la absorción intestinal de estos metabolitos fúngicos (Girona & Giménez, 2000).

Tabla 9. Porcentaje medio de adsorción de aflatoxinas 2.

Porcentaje medio de adsorción de aflatoxinas (\pm de, media de tres determinaciones) con montmorillonita al 1% (p/v) en un medio tamponado a pH 7,0 y a 25 °C, en función del tiempo de contacto entre las aflatoxinas y la montmorillonita. Concentración inicial de aflatoxinas: 10 μ g/ml de aflatoxina b1, 1 μ g/ml de aflatoxina b2, 5 μ g/ml de aflatoxina G1 y 0,5 μ g/ml de aflatoxina G2.

Tiempo	Porcentaje medio de adsorción (\pm DE)			
	AFB1	AFB2	AFG1	AFG2
1 Min	97,92 (1,24)a	88,99 (1,23)a	87,79 (1,23)a	52,29 (1,31)a
5 Min	98,24 (1,07)a	92,39 (1,95)a	95,26 (1,72)b	58,58 (1,21)a
15 Min	98,97 (1,01)a	93,36 (1,38)a	93,46 (2,14)ab	82,71 (1,79)b
30 Min	99,48 (1,17)a	95,92 (0,82)ab	96,49 (2,77)b	94,81 (2,11)c
1 Hora	99,38 (2,16)a	99,27 (2,99)b	98,06 (3,73)b	98,15 (2,17)c
3 Horas	99,29 (1,31)a	99,47 (1,49)b	97,91 (3,12)b	98,17 (2,09)c
6 Horas	99,58 (1,48)a	99,52 (0,89)b	98,27 (3,74)b	98,22 (3,10)c
24 Horas	99,28 (1,23)a	99,57 (4,10)b	98,21 (2,10)b	98,37 (2,17)c

DE: Desviación Estándar

a, b, c: Resultados con distinto superíndice, en la misma columna, difieren entre si significativamente ($p < 0,05$)

 F
 u

ente: Girona y Giménez, (2000).

Carbón Activado. Es un polvo no soluble resultado de la pirolisis de diferentes tipos de materiales orgánicos. Ha demostrado reducir la absorción intestinal de la zearalenona hasta en un 32%, en cuanto a la reducción de la AFB1 de los piensos y la eliminación de la AFM1 en la leche se ha logrado observar una reducción del 22 al 45%. Su alto costo y la tendencia a ennegrecer al medio ambiente, los animales y el alimento, se restringe su uso en piensos (Rangel 2015). Productos disponibles comercialmente a base de carbón activado empleados como secuestrantes de micotoxinas en alimentos para animales terrestres se muestran a continuación:

Tabla 10. Productos comerciales disponibles.

<i>Producto</i>	<i>Micotoxina que secuestra</i>
Aquacarb™ 207EA	AF
Carbón activado	ZEA, FB1, FB2, OTA, DON, AFB1 y AFM1
Carbón superactivado	AF, T2
Darco KB-B	AFB1, OTA
Filtrisorb 400	AF
Gen 1240	AF
Norit GCN	AFM1
Nuchar® SA-20	AFB1, AFM1
Sorbopor MV 125	AFB1

Fuente: Tapia et al. (2010).

Tierra de diatomeas. La tierra de diatomeas es un mineral de origen vegetal provenientes de algas unicelulares. El contenido de sílice presente en la tierra de diatomeas es alrededor del 65%, aunque se pueden presentar algunos casos donde puede llegar a un 90%, por lo cual su aplicación industrial depende del grado de pureza y sílice (Tapia Salazar et al., 2010). Su poder es de adsorción es débil por lo que se hace necesario realizar tratamientos químicos para modificar su estructura porosa o su superficie y así mejorar su capacidad adsorbente. Hay que resaltar que no hay mucha literatura sobre el uso de tierras de diatomeas como secuestrante de micotoxinas (Blandón, Pérez & Denli, 2011).

Capítulo VI.

Legislación.

Las pérdidas económicas por la comercialización de materias primas contaminadas son importantes, tanto para los países exportadores como para los importadores. Los niveles de tolerancia establecidos para las transacciones comerciales se tornan cada vez más estrictos, demostrando que se ha tomado una mejor conciencia de los riesgos y consecuencias (Bueno et al., 2001).

El *Codex Alimentarius* establece las legislaciones internacionales en lo que respecta a alimentos destinados para el consumo humano y animal, sin embargo, sus estándares no son obligatorios. En la Unión Europea, las bases legales para establecer los límites máximos permitidos para las micotoxinas están a cargo de la Comisión Reguladora (Council Regulation, EEC). Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay aplican regulaciones propuestas por el MERCOSUR (Mercado Común del Sur) para aflatoxinas totales en maní, maíz y subproductos, y para aflatoxina M1 en leche. En los Estados Unidos, se establecen regulaciones a través de la FDA (Soria, 2013).

La decisión de los límites máximos permitidos en determinadas materias primas depende de diversos factores tales como: disponibilidad de datos toxicológicos, disponibilidad de datos acerca de la presencia de la micotoxina en diversas materias primas, homogeneidad de la concentración de micotoxina en un lote, disponibilidad de métodos analíticos, legislación de los países con los cuales existe contacto comercial y disponibilidad suficiente de alimentos para satisfacer la demanda de los mismos (Soria, 2013).

La Unión Europea ha legislado estas micotoxinas en géneros alimenticios para consumo humano y actualmente los niveles máximos admisibles están establecidos entre 2 a 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para AFB1 y de 4 a 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para la sumatoria de las cuatro aflatoxinas (B1, B2, G1, G2), dependiendo de los diferentes alimentos (maní, frutos de cáscara, frutos secos y subproductos, cereales y subproductos) para consumo humano directo o como materias primas alimenticias. Se incluyen los productos sometidos a selección o transformación física antes del consumo, teniendo en cuenta que esos procesos pueden reducir la concentración original de AFB1 (Martínez et al., 2013).

En Colombia, existe la Resolución 4506 de 2013 por el cual se

establecen los requisitos para el muestreo y análisis de aflatoxinas totales en alimentos como el maíz, cereales, leguminosas secas y sus productos molidos y las arepas refrigeradas de maíz, el contenido máximo de aflatoxinas totales en alimentos para consumo humano que se establecen en 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$.(p.4)

Así como “la suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 para todos los cereales y todos los productos a base de cereales, incluidos los productos de cereales transformados no debe ser mayor de 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ” (INVIMA, 2016).

Capítulo VII.

Conclusiones y Recomendaciones.

- Las aflatoxinas son las causantes de los mayores problemas en los sistemas avícolas alrededor del mundo.
- La presencia de micotoxinas en alimentos o materias primas no solo es un problema para los sistemas productivos o la industria alimenticia, sino también para la salud pública, de allí la importancia de evitar el consumo de este tipo de alimentos.
- Las medidas de control y prevención de las micotoxicosis en aves dependen de determinar exactamente que agentes contaminantes están afectando el sistema productivo.
- Es escasa la información que se encuentra en nuestro país sobre esta enfermedad por tal motivo, tampoco existe un protocolo definido para responder a estos desafíos.
- Los síntomas que manifiestan las aves al presentarse una aflatoxicosis no son únicos para esta patología, así que es difícil identificarla sin exámenes complementarios.
- El control de aflatoxinas se puede hacer tanto en la cosecha de las materias primas como en el almacenamiento tanto de estas como del producto final, además del uso de adsorbentes incluidos en la formula.

- Es importante a la hora de seleccionar un producto para la prevención o control de las aflatoxinas, tener en cuenta que no cambie la composición nutricional u organoléptica ya que acrecentaría el problema inicial.
- Los productos de origen orgánico son considerados los más efectivos ya que evitan transformaciones del material tratado con ellos, además de fácil utilización y bajo costo.
- En la actualidad existe una normatividad a nivel Colombia pero no se presenta un seguimiento constante tanto de las materias primas como del alimento balanceado.
- Es importante aumentar el número de profesionales del sector preocupados por hacer seguimiento a este tipo de patologías para conocer aún más cómo se desarrolla y cómo se puede controlar.

Referencias Bibliográficas.

- Abbas, K., Wilkinson, R., Zablotowicz, M., Accinelli, C., Abel, A., Bruns, A. & Weaver, A. (2009). Ecology of *aspergillus flavus*, regulation of aflatoxin production, and management strategies to reduce aflatoxin contamination of corn. *Toxin Reviews*, 28(2-3), 142-153
- Acuña, C.A., Díaz, G.J. & Espitia, M.E. (2005). Aflatoxinas en maíz: reporte de caso en la Costa Atlántica colombiana. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 52, 156-162.
- Adegoke, G. & Letuma, P. (2013). Strategies for the prevention and reduction of mycotoxins in developing countries. En: *Mycotoxin and Food Safety in Developing Countries*. Makun, H.A. (ed.), 123-136. Croatia: InTech.
- Alam, S., Shah, H. U., Afzal, M. & Magan, N. (2014). Influence of calcium propionate, water activity and storage time on mold incidence and aflatoxins production in broiler starter feed. *Animal Feed Science and Technology*, 188, 137-144.
- Alvarenga, A., Mendez, J. & Ríos, D. (2013). Aflatoxinas, un riesgo real. *Reportes Científicos de la FACEN*. 4(1), 6-81.
- Araníbar, M. J. (2007). Importancia y control preventivo de la aflatoxicosis aviar. *Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal*, 15(S1), 99-103.

- Arce, J., Avila, E., Vasquez, C., Lopez, & Tirado, F. (2000). Efecto de dos aluminosilicatos en dietas con 45 ppb de aflatoxinas B1 sobre los parámetros productivos en pollo de engorda. *Veterinaria México*, 25(1), 33-36.
- Arrieta, D. (2012, julio). Aflatoxicosis y su impacto sobre la avicultura. XVI Congreso de Producción e Industria Animal. Asociación Venezolana de Producción Animal. Maracaibo, Venezuela.
- Arrieta, D., Pérez, M. L., Hernández-Fonseca, J., Oviedo, M. G., Miranda, S. & Luengo, A. (2008). Efecto del consumo de cultivo de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y/o selenio en pollos de engorde expuestos a bajos niveles de aflatoxina b1 en la dieta. 2: morfología hepática. *Revista Científica*, 18(1), 93-102.
- Arrieta, D., Pérez, M., Gómez, C., Molero, G., Novoa, E. & Rincón, H. (2006). Efecto del alimento contaminado con aflatoxina B1 (0, 07 mg/kg) sobre la morfología hepática y actividad enzimática sérica (AST y ALT) en pollos de engorde. *Revista Científica Maracaibo*, 16(1), 34-47.
- Arrua Alvarenga, A. A., Mendes, J.M. & Rios, D. F. (2013). Aflatoxins, a real risk. *Reportes Científicos de la FACEN*, 4(1), 70.
- Aurrecoehoea, P. (2000). Micotoxinas y Hongos, interacción Causante de un Problema Aviar. Caracas: Primera Edición. 27-28.
- Bailey, C. A., Latimer, G. W., Barr, A. C., Wigle, W. L., Haq, A. U., Balthrop, J. E. & Kubena, L. F. (2006). Efficacy of montmorillonite clay (NovaSil PLUS) for protecting full-term broilers from aflatoxicosis. *The Journal of Applied Poultry Research*, 15(2), 198-206.

- Bejarano Rodríguez, R. J. & Centeno Briceño, S. J. (2009). Extracto de Citrus limón para el control de aflatoxinas y hongos aflatoxigénicos en alimentos concentrados para pollos de engorde producidos en Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 29(1), 57-61.
- Blandón Martínez, J. C., Pérez Hernández, J. F. & Denli, M. (2011). Evaluación de un adsorbente de micotoxinas de nueva generación como aditivo en el pienso de animales de renta. (Tesis Doctoral). Universitat Autònoma de Barcelona. España.
- Bochio, V., Takahashi, S. E., Groff, P. M., Schadeck, M. M., & Maier, G. S. (2017). Efeitos da aflatoxina na produção avícola: Revisão. *PUBVET*, 11, 744-839.
- Bogantes-Ledezma, P, Bogantes-Ledezma, D. & Bogantes-Ledezma, S. (2004). Aflatoxinas. *Acta Médica Costarricense*, 46(4), 174-178.
- Borrell, J. & Gimeno, G. (2002). Micotoxinas en los alimentos: medidas de prevención y detoxificación. *Selecciones Avícolas*, 44(8). 567-572.
- Bueno, D., Salvano, M., Silva, J., Gonzales, S. & Oliver G. (2001). Micotoxinas: Diagnostico y Prevención en Aves de Corral. *Boletín micológico*, 16, 23-36
- Cabañes, F., Abarca, L., Bragulat, M. & Catella, G. 2007. Especies productoras de micotoxinas. In J. M. Soriano del Castillo (Ed.), *Micotoxinas en alimentos*. España: Ediciones Díaz de Santos.

- Castro, J., Alvarado, A., Koga, Y. & Tinoco, R. (2015). Cuantificación de Micotoxinas en Ingredientes Alimenticios Utilizados en la Dieta de Aves Comerciales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, RIVEP*, 26(4), 558-564.
- Cornejo, J. & Villarroel, O. (2012). Antecedentes generales sobre las aflatoxinas y otras micotoxinas y elementos a tener en cuenta para el diseño de prácticas correctas de cultivo y elaboración de nueces. Chile, Ministerio de Salud Chile.
- Clavijo, B., Correa, D., Gamboa, A., Martínez, O., Pérez, T., Rojas, O. & Vanegas C. (2015). Evaluación de Riesgo de Carcinoma Hepatocelular en Población Colombiana por Consumo en Arepa de Maíz Contaminada con Aflatoxina B1. Documentos de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos. Colombia, Ministerio de Salud y Protección Social Instituto Nacional de Salud.
- Daković, A., Matijašević, S., Rottinghaus, G.E., Ledoux, D.R., Butkeraitis, P. & Sekulić, Ž. (2008). Aflatoxin B1 adsorption by natural and copper modified montmorillonite. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 66(1), 20-25.
- Del Campo, N. (2004). Uso de zeolitas en nutrición animal. Minera formas. Recuperado de <http://www.mineraformas.cl/Pdfs/020904%20Zeolitas%20en%20Nutricion%20Animal.pdf>
- Denli, M. & Pérez, J.F. (2006). Contaminación por micotoxinas en los piensos: efectos, tratamiento y prevención. XXII Curso de Especialización. *FEDNA*, 1-18. Recuperado de <http://www.produccion->

animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/Micotoxicosis/31-
intoxicacion_por_micotoxinas.pdf

Díaz, G.J. (2000). Micotoxinas y micotoxicosis en salud humana y animal. Segunda Parte. *Veterinaria al día*, 2(3), 3-8.

Dwarakanath, C. T., Rayner, E. T., Mann, G. E. & Dollear, F. G. (1968). Reduction of aflatoxin levels in cottonseed and peanut meals by ozonization. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 45(2), 93-95.

El-Nezami, H. (2012). Interaction of probiotics and mycotoxins: benefits to human health. The 6th Asian Conference on Food and Nutrition Safety. International Life Sciences Institute (ILSI). Singapur.

Ellis, W. O., Smith, J. P., Simpson, B. K., Oldham, J. H. & Scott, P. M. (2005). Aflatoxins in food: occurrence, biosynthesis, effects on organisms, detection, and methods of control. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 30(4), 403-439.

Escalona, A., Figueredo, M., Ramayo, Y. & Ramos, O. (2005). Revista ciencias. *Micotoxinas*
Recuperado de
<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EEEFeyZVkJQqVRsQj.php>.

Escobar A. (2005). Las micotoxinas un problema en la ganadería (Parte I). *Revista ACPA*.

Federación Nacional de Avicultores de Colombia (2017). [Página web].
http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2160&Itemid=
556

- Fountain, J.C., Scully, B.T., Ni, X., Kemerait, R.C., Lee, R.D., Chen, Z.Y. & Guo, B. (2014). Environmental influences on maize- interactions and aflatoxin production. *Front Microbiol*, 5, 40.
- García, S. & Heredia, N. (2006). Mycotoxins in México: Epidemiology, management and control strategies. *Mycophatol*, 162, 255-264.
- Gimeno, A. (2014). Micotoxinas en alimentos de origen avícola. Su impacto en la salud humana. Prevención y control. Jornadas profesionales de avicultura. Recuperado de <https://nutricionanimal.info/wp-content/uploads/2014/05/RESIDUOS-MICOTOXINAS-EN-ALIMENTOS-ORIGEN-AVICOLA-RIESGOS-HUMANOS-2014-ALBERTO-GIMENO.pdf>
- Gimeno, A. & Martins, M. L. (2003). Mitocoxinas y micotoxiosis en animales y humanos. Special Nutrients Incorporated. Tercera edición, Special Nutrients, INC.
- Girona, A. & Giménez, E. (2000). Adsorción in vitro de aflatoxinas mediante la utilización de compuestos adsorbentes: Montmorillonita. *Revista Iberoamericana. Micol* 14, 72-77.
- Haskard, C. A., El-Nezami, H. S., Kankaanpää, P. E., Salminen, S. & Ahokas, J. T. (2001). Surface binding of aflatoxin B1 by lactic acid bacteria. *Appl Environ Microbiol*. 67, 3086-3091.
- Herzallah, S., Alshawabkeh, K. & AL Fataftah, A. (2008). Aflatoxin decontamination of artificially contaminated feeds by sunlight, g-radiation, and microwave heating. *The Journal of Applied Poultry Research*, (17), 515-521.

- Huwig, A., Freimund, S., Kappeli, O. & Dutler, H. (2001). Mycotoxin detoxification of animal feed by different adsorbents. *Toxicol. Lett*, 122, 179–188.
- INVIMA. (2016). Plan Nacional Subsectorial De Vigilancia y Control de Micotoxinas y Conservantes en Alimentos Procesados Para El Año 2016. Grupo del Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas. Dirección De Alimentos y Bebidas. Recuperado de <https://www.invima.gov.co/>
- Jaimes-Olaya, J. A., Gómez Ramírez, A. P., Álvarez Espejo, D. C., Soler Tovar, D., Romero Prada, J. R. & Villamil Jiménez, L. C. (2010). Las enfermedades infecciosas y su importancia en el sector avícola. *Revista de Medicina Veterinaria*, (20), 49-61.
- Kabak, B., Dobson, A. & Var, I. (2006). Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 46(8), 593-619.
- Ozbey F, Kabak B (2012) Natural co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in spices. *Food Control* 28, 354–361
- Kana, J., Gbenou, B., Gnonlonfin, J. & Harvey, J. (2013). Assessment of aflatoxins contamination of maize, peanut meland poultry feed mixtures from different agroecological zones in Cameroon. *Toxins*, 884-894.
- Krishnamurthy, Y. L. & Shashikala, J. (2006). Inhibition of aflatoxin B1 production of *Aspergillus flavus*, isolated from soybean seeds by certain natural plant products. *Letters in Applied Microbiology*, 43, 469–474.
- Lara, J. (2003). Métodos de determinación, identificación y control de micotoxinas en ingredientes de nutrición animal. Asociación Mexicana de Nutrición Animal. Recuperado

de: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/metodos-determinacion-identificacion-control-t26035.htm>

Lara, J., Rivera, L., Bringas, A. & Pérez, R. (2003). Los aluminosilicatos y la adsorción de micotoxinas. Temas de actualidad para la industria avícola. México: Ed. Midia Relaciones.

Li, J. J., Suo, D. C. & Su, X. O. (2010). Binding capacity for aflatoxin B1 by different adsorbents. *Agricultural Sciences in China*, 9(3), 449-456.

López, J., Rutz, F., Mallmann, C. & Pinto de Toledo, G. (2006). Adição de bentonita sódica como adsorvente de aflatoxinas em rações de frangos de corte. *Ciência Rural*, 36(5), 1594-1599.

Magan, N. (2006). Mycotoxin contamination of food in Europe: Early detection and prevention strategies. *Mycopathol*, 162, 245-253.

Malla Bravo, A. C., López, S. & Vanessa, S. (2016). Determinación del metabolito tóxico aflatoxina M1 en leches cruda, pasteurizada y ultrapasteurizada consumidas en la ciudad de Cuenca mediante la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). (Trabajo de grado). Universidad de Cuenca, Ecuador.

Mallmann, C. A., Dilkin, P., Giacomini, L. Z., Rauber, R. H. & Pereira, C. E. (2007). Micotoxinas en ingredientes para alimento balanceado de aves. En *Congreso Latinoamericano de Avicultura*, 20, 191-204.

- Mallmann, C., Hummes, R. & Giacomini, L. (2006). Control, monitoreo y manejo de micotoxinas de explotaciones avícolas. Laboratorio de análisis mico toxicológicos. Departamento de Medicina Veterinaria preventiva. Universidad Federal de Santa María Brasil.
- Marín, F. P., Rivera, S., Finol, G. & Mavárez, Y. (2003). Aflatoxina B, Selenio y *Saccharomyces cerevisiae* en la respuesta inmune de pollos de engorde en el estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica*, 13(5).
- Marroquín Cardona, A., Deng, Y., Taylor, J., Hallmark, C., Johnson, N. & Phillips, T. (2009). In vitro and in vivo characterization of mycotoxin-binding additives used for animal feeds in Mexico. *Food Additives & Contaminants*, 733-743.
- Martín, T., Rocha, M., Rosas, E., Lopez, S. & Corrales, C. (2002). Efectos de extractos alcohólicos de plantas silvestre sobre la inhibición de crecimiento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium moniliforme*, y *Fusarium poae*. *Revista Iberoamericana Micol.* 19, 84-88.
- Martínez, E. M., Badillo, M. V. & Parra, F. F. (2000). Uso de sales del ácido propiónico para inhibir la producción de aflatoxinas en granos almacenados de maíz.
- Martínez, M., Vargas del Río, M. & Gómez, V. (2013). Aflatoxins: incidence, impact on health, control and prevention. *Biosalud*, 12(2), 89-109.
- Mascarrell, J., Carne, S. & Zaragoza, A. (2013). Nuevo reto: Establecer estrategias para evaluar la eficacia de productos adsorbentes de micotoxinas en avicultura. *Selecciones avícolas*, 54(9), 25-28.

Maygua, L. & Humberto, O. (2012). Evaluación de dos Métodos de Control de Hongos Toxigénicos y Biotoxinas Post-Diagnóstico en Alimentos Concentrados para Aves. (Trabajo de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

McCormick, S. P. (2013). Microbial Detoxification of Mycotoxins. *Journal of Chemical Ecology*, 39, 907-918

Ministerio de salud y protección social. (30 de octubre de 2013). 4107 DE 2011 [Resolución 004506 de 2013]. Recuperado de: Diario Oficial No. 48.960 de 31 de octubre de 2013.

Morris, L.F. (2011). Determinación de aflatoxinas en muestras de maíz (*Zea mays*) y arroz (*Oryza sativa*) para consumo humano en cinco departamentos de la Costa Caribe Colombiana mediante cromatografía de alta eficiencia durante seis meses en 2011. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Murcia, H.W. (2010). Micotoxinas y aflatoxina B1, un problema en salud animal. Centro de Investigación y Desarrollo. Fundación Universitaria de Área Andina. *Rev. Teoría y Praxis Investigativa*, 5, (2), 71-78.

Nyandieka, H., Maina, J. & Nyamwange, C. (2009). Detoxification of Aflatoxin in Artificially Contaminated Maize Crop by Ammoniation Procedures. *Discovery and Innovation*, 21, 1-2.

Ochoa, J., Hernández, F., Chico, S., Uribe, R. & Sierra, J. (2014). Intoxicación por micotoxinas en pollos de engorde: Reporte de Caso. *CITECSA*, 4(7), 49-57.

- Pan, D., García y Santos, C. & Bettucci, L. (2016). Evaluación in vitro de agentes secuestrantes de aflatoxinas. *Veterinaria (Montevideo)*, 52(201), 3.
- Peltonen, K., El-Nezami, H., Haskard, C., Ahokas, J. & Salminen, S. (2001). Aflatoxin B1 binding by dairy strains of lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Journal of Dairy Science.*, 84, 2152-2156.
- Pérez Arévalo L. (2014). Efecto de las aflatoxinas sobre aspectos fisiológicos y morfológicos reproductivos en gallos (*Gallus gallus*) así como el efecto detoxificador de la vitamina C sobre los mismos. (Tesis Doctoral). Universidad de Córdoba. Edita servicio de publicaciones de la Universidad de Cordoba, campus rabanales, España.
- Perez, J., Mogollon, H., Suarez, F., Salas, R. & Bernal, J. (2014). Intoxicacion por micotoxinas en pollo de engorde: Reporte de caso. *Revista de Ciencia, tecnología y divulgación de avances de investigación. Barrancabermeja, Colombia.* 4(7), 49-57.
- Perusia, O., Rodriguez, A. (2001). Micotoxicosis. *Revista INVET*, 12(2), 87-116.
- Rangel, E. J. (2015). Evaluación de la eficacia de un programa de control de la contaminación por aflatoxinas en dietas de vacas lecheras del altiplano central mexicano. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Centro de Ciencias Pecuarias. Recuperado de <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/123456789/385>
- Reyna-Santamaría, L., Basilio-Navarrete, A., Martínez-Rojero, R.D. & Casaubon-Huguenin, M. T. (2016). Comportamiento productivo y toxicosis en pollos de engorde alimentados con aflatoxinas B1, B2 y tres adsorbentes de micotoxinas. *Archivos de medicina veterinaria*, 48(2), 215-222.

- Rivas, S. C. M., Corral, R. I. A. & Montfort, G. R. C. (2016). Habilidad de los probióticos para unir aflatoxinas carcinogénicas/ability of probiotics to bind carcinogenic aflatoxins. *Biotecnia*, 18(1), 43-51.
- Rodríguez, B. (2009). Evaluación de la micoflora y biocontrol de aflatoxinas en alimentos concentrados para pollos de engorde. (Tesis Doctoral). Universidad de Oriente Cumana, Venezuela.
- RodríguezUribe, C. A. (2016). Estudio de factibilidad para la implementación de biodigestores para el procesamiento de los residuos sólidos orgánicos en granjas avícolas. (Trabajo de grado). Universidad del Rosario, Bogotá.
- Rodriguez, P., Soares, C., Kozakiewicz, Z., Paterson, R., Lima, N. & Venancio, A. (2007). Identification and characterization of *Aspergillus flavus* and aflatoxins. *Instituto politécnico de Braganca*, 2, 527-534.
- Rosa, A., Mallmann, C. & Jaskuosky, R. (2001). Desempenho produtivo de matrizes de corte submetidas à intoxicação por aflatoxina e deoxynivalenol. Fundação Apinco de Ciências e Tecnologia Avícolas. *Revista Brasileira de Ciencia Avícol*, 3, 73.
- Sanchis, V., Marin, S. y Ramos, A. (2000). Control de micotoxinas emergentes. Situación legislativa actual. *Revista Iberoamericana Micología*, 17, 69-75.
- Santin, E., Paulillo, A. C., Maiorka, P. C., Alessi, A. C. & Maiorka, A. (2002). The effects of ochratoxin/aluminosilicate interaction on the tissues and humoral immune response of broilers. *Avian Pathol*, 31, 73-79,

- Serrano-Coll, H. A. & Cardona, N. (2015). Micotoxicosis y Micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. *Revista CES Medicina*. 29(1), 143-151
- Shetty, P. & Jespersen, L. (2006). Saccharomyces cerevisiae and lactic acid bacteria as potential mycotoxin decontaminating agents. *Trends Food Sci Tech*. 17(2), 48-55.
- Smith, T. (2016). El efecto de las micotoxinas en el desempeño de las aves y los cerdos. Departamento de Biociencias Animales. Universidad de Guelph. Canadá. Recuperado de <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/el-efecto-de-las-micotoxinas-trasmitidas-por-el-alimento-balanceado-sobre-el-desempeno-de-las-aves-y-los-cerdos.html>
- Soria, C. M. (2013). Salmonella y aflatoxinas en granjas de gallinas ponedoras comerciales. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Soriano, J. M. (2007). Micotoxinas en alimentos. España: Ed. Díaz de Santos.
- Tapia Salazar, M., García Pérez, O., Nieto López, M., Ricque Marie, D., Villarreal Cavazos, D. & Cruz Suárez, L. (2010). Uso de secuestrantes para disminuir la toxicidad de micotoxinas en alimentos para acuicultura Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 514-546.
- Tessari, E., & Cardoso, A. (2012). Efectos da aflatoxina sobre as aves: revisão de literatura, *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, 9, 18.
- Torlak, E., Akata, I., Erci, F. & Uncu, A. (2016). Use of gaseous ozone to reduce aflatoxin B 1 and microorganisms in poultry feed. *Journal of Stored Products Research*, 68, 44-49.

- Torres, M. Aparicio, J. & García, J. (2014) La aflatoxicosis: Un problema a resolver dentro de la Medicina Veterinaria. *REDVET*, 15(2)2-34.
- Udomkun, P., Wiredu, A. N., Nagle, M., Müller, J., Vanlauwe, B. & Bandyopadhyay, R. (2017). Innovative technologies to manage aflatoxins in foods and feeds and the profitability of application—A review. *Food Control*, 76, 127-138.
- Urrego Novoa, J. & Días, G. (2006). Aflatoxinas: mecanismos de toxicidad en la etiología de cáncer hepático celular. *Revista de la Facultad de Medicina*, 54(2), 108-116.
- Vekiru, E., Fruhauf, S., Sahin, M., Ottner, F., Schatzmayr, G. & Krska, R. (2007). Investigation of various adsorbents for their ability to bind aflatoxin B1. *Mycotoxin Res*, 23(1), 27-33
- Velazhahan, R., Vijayanandraj, S., Vijayasamundeeswari, A., Paranidharan, V., Samiyappan, R., Iwamoto, T. & Muthukrishnan, S. (2010). Detoxification of aflatoxins by seed extracts of the medicinal plant, *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague ex Turrill—structural analysis and biological toxicity of degradation product of aflatoxin G1. *Food control*, 21(5), 719-725.
- Villar, M., Medina, J. & García Gómez, J. (2014). La aflatoxicosis: Un problema a resolver dentro de la Medicina Veterinaria. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(2), 1-34.
- Villarreal Guerra, J. M. (2014). Inclusión de arcillas esmectitas en masa de nixtamal para reducir la exposición de aflatoxinas y fumonisinas. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León), México.

- Vargas del Río, D. & Brenner, L. (2013). Ecoturismo comunitario y conservación ambiental: la experiencia de La Ventanilla, Oaxaca, México. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 21(41), 31-63.
- Wang, P., Afriyie-Gyawu, E., Tang, Y., Johnson, N., Xu, L., Tang, L., Huebner, H., Ankrah, N.-A., OforiAdjei, D., Ellis, R.W., Jolly, P., Williams, J., Wang, J.-S. & Phillips, T. (2008). NovaSil clay intervention in Ghanaians at high risk for aflatoxicosis: II. Reduction in biomarkers of aflatoxin exposure in blood and urine. *Food Additives and Contaminants*, 25, 622-634.
- Zain, M. E. (2011). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(2), 129-144.